

Perkembangan Teknologi Pengering surya

Harry Setyo Wibowo a,1,*

^a Balai Besar Bahan dan Barang Teknik, Kementerian Perindustrian RI

¹ harrysetyo@kemenperin.go.id

* Corresponding Author

ABSTRACT

Solar dryers used in agriculture for food and crop drying are used for industrial drying processes. They can be proved to be a very useful device from the energy conservation point of view. It not only saves energy but also saves a lot of time, occupies less area, improves quality of the product, makes the process more efficient, and also protects the environment. Solar dryers circumvent some of the major disadvantages of classical drying. Solar drying under controlled conditions of temperature and moisture removing rate ensures perfect drying and desirable product quality. The percentage of moisture content in different agricultural products is different and varies product to product. For drying different moisture content products, the drying systems are usually classified as low and high temperature operated drying systems. The indirect, direct, and mixed mode dryers that have shown potential in drying agricultural products in the tropical and subtropical countries are discussed. A side from identifying the active and passive mode solar dryers, they also highlight the environmental influence on solar energy (harnessing) that plays a vital role in the solar drying sector. The classifications of sun drying procedures are created based on the stage of processing, the location of drying, or the apprehension to solar radiation. This paper also presents the related technologies that can help improve existing solar dryers.



KEYWORDS

solar drying technologies
solar dryer
direct solar dryer
indirect solar dryer.

ABSTRAK

Pengering surya yang digunakan dalam pertanian, dimanfaatkan untuk pengeringan makanan dan tanaman. Pengering ini merupakan perangkat yang sangat berguna dari sudut pandang konservasi energi. Pengering surya tidak hanya menghemat energi tetapi juga menghemat banyak waktu, menempati area yang lebih sedikit, meningkatkan kualitas produk, membuat proses lebih efisien, dan juga melindungi lingkungan. Pengering surya menghindari beberapa kelemahan utama dari pengeringan klasik. Pengeringan surya di bawah kondisi suhu dan tingkat penghilangan kelembaban yang terkendali memastikan pengeringan sempurna dan kualitas produk yang diinginkan. Persentase kadar air dalam berbagai produk pertanian berbeda dan bervariasi antara satu produk dengan produk lainnya. Untuk mengeringkan berbagai produk kadar air, sistem pengeringan biasanya diklasifikasikan sebagai sistem pengeringan yang dioperasikan dengan suhu rendah dan tinggi. Pengering mode tidak langsung, langsung, dan campuran yang telah menunjukkan potensi pengeringan produk pertanian di negara-negara tropis dan subtropis dibahas dalam makalah ini. Selain mengidentifikasi mode pengering matahari aktif dan pasif, makalah ini juga menyoroti pengaruh lingkungan pada energi matahari (memanfaatkan) yang memainkan peran penting dalam sektor pengeringan surya. Klasifikasi prosedur pengeringan surya dibuat berdasarkan tahap pemrosesan, lokasi pengeringan, atau pemahaman terhadap radiasi matahari. Makalah ini juga menyajikan teknologi terkait yang dapat membantu meningkatkan pengering surya yang ada.



KEYWORDS

teknologi pengeringan surya
pengering surya
pengering surya langsung
pengering surya tidak langsung.



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

1. PENDAHULUAN

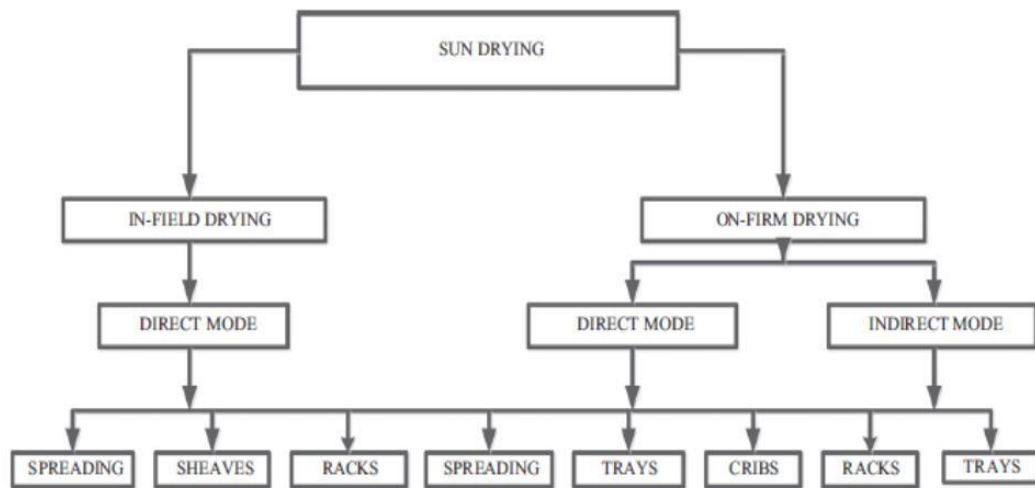
Berdasarkan hasil penelitian, sekitar 15% populasi dunia saat ini kekurangan gizi. Peningkatan populasi dunia akan memperkuat ketidakseimbangan populasi-pangan yang ada. Selain meningkatkan pasokan makanan dan membatasi pertumbuhan populasi, secara drastis mengurangi kehilangan makanan yang terjadi sepanjang produksi pangan, panen, pasca panen, dan pemasaran tampaknya menjadi pilihan yang layak. Pengurangan kerugian pangan terutama menjadi masalah bagi petani kecil di negara-negara berkembang yang memproduksi lebih dari 80% makanan. Pengeringan menggunakan tenaga surya dalam praktiknya sejak dahulu kala untuk pelestarian tanaman pangan dan pertanian. Ini dilakukan terutama dengan pengeringan matahari terbuka di bawah langit terbuka. Karena pengeringan matahari tradisional merupakan proses yang relatif lambat, kerugian yang cukup besar dapat terjadi.

Selain itu, penurunan kualitas produk terjadi karena infestasi serangga, reaksi enzimatik, pertumbuhan mikroorganisme, dan pengembangan mikotoksin. Proses ini memiliki beberapa kelemahan seperti pembusukan produk karena kondisi iklim yang merugikan seperti hujan, angin, lembab, dan debu, kehilangan bahan karena burung dan hewan, kerusakan bahan oleh penguraian, serangan serangga dan pertumbuhan jamur. Juga prosesnya sangat padat karya, memakan waktu, dan membutuhkan area yang luas. Dengan perkembangan budaya dan industri, pengeringan mekanis buatan mulai dipraktikkan. Proses ini sangat intensif energi dan mahal, yang pada akhirnya meningkatkan biaya produk. Dengan demikian pengeringan matahari adalah alternatif terbaik sebagai solusi dari semua kelemahan pengeringan alami dan pengeringan mekanis buatan.

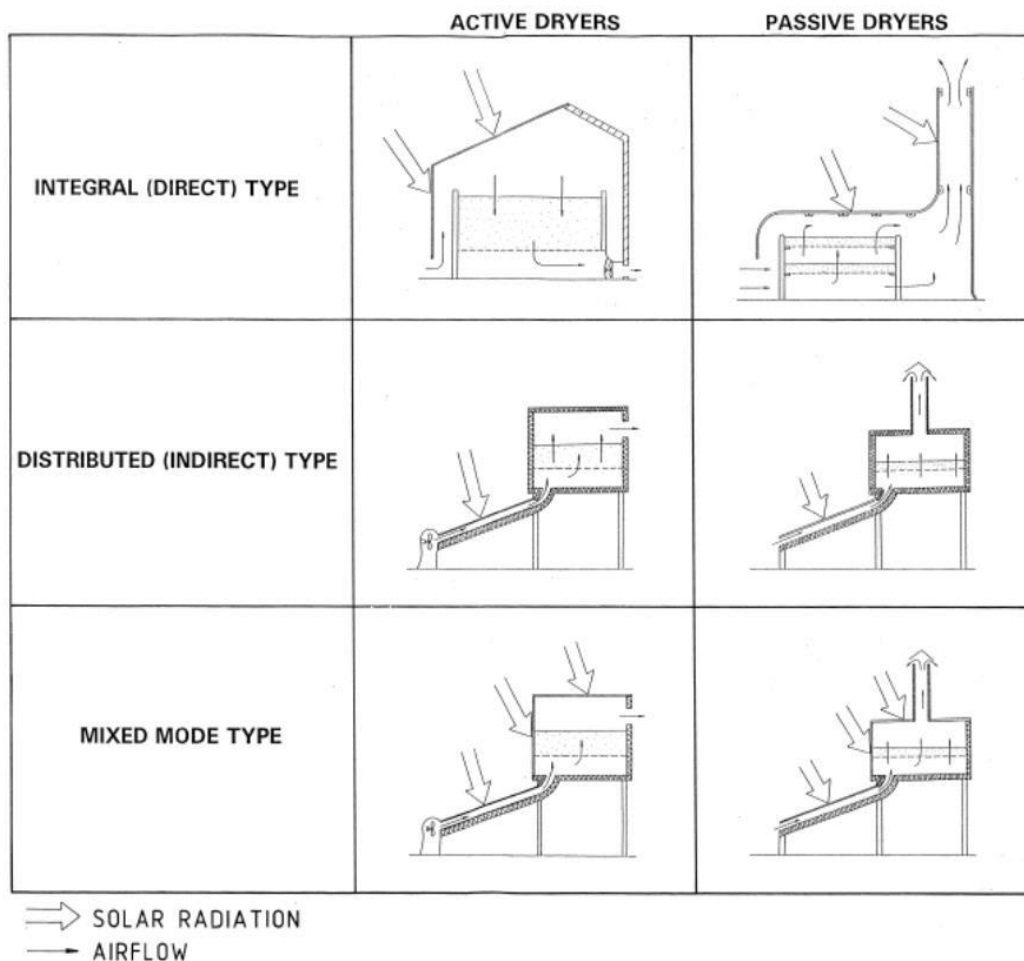
Pengering surya yang digunakan dalam pertanian untuk pengeringan makanan dan tanaman digunakan untuk proses pengeringan industri. Pengering ini merupakan perangkat yang sangat berguna dari sudut pandang konservasi energi. Pengering ini tidak hanya menghemat energi tetapi juga menghemat banyak waktu, menempati area yang lebih sedikit, meningkatkan kualitas produk, membuat proses lebih efisien, dan juga melindungi lingkungan. Pengering surya menghindari beberapa kelemahan utama dari pengeringan klasik. Pengeringan dengan tenaga surya dapat digunakan untuk seluruh proses pengeringan atau untuk melengkapi sistem pengeringan buatan, sehingga mengurangi jumlah total energi bahan bakar yang dibutuhkan [1].

Ide pertama pengering matahari dikembangkan untuk menghindari masalah pengeringan surya terbuka oleh Everitt dan Stanley pada tahun 1976, berupa satu unit pengering berbentuk kotak yang memiliki penutup sinar matahari transparan. Tujuan dari penemuan ini adalah untuk menyediakan metode baru dan lebih baik yang membantu mengatasi kekurangan yang diiklankan dalam pengeringan surya terbuka. Setelah beberapa dekade, banyak peneliti terkemuka melakukan beberapa perbaikan dalam teknologi pengeringan surya dengan memanfaatkan sirkulasi alami dan paksa, pemanasan sumber tambahan (misalnya listrik dan bahan bakar fosil) untuk mencapai fitur pengeringan yang diinginkan. Dalam pengeringan surya produk pertanian, kelembaban dihilangkan oleh udara panas matahari yang memiliki kisaran suhu 50 hingga 60°C. Pengeringan matahari di bawah kondisi suhu dan tingkat penghilangan kelembaban yang terkendali memastikan pengeringan sempurna dan kualitas produk yang diinginkan. Persentase kadar air dalam berbagai produk pertanian berbeda dan bervariasi antara satu produk dengan produk lainnya. Untuk mengeringkan berbagai produk kadar air, sistem pengeringan biasanya diklasifikasikan sebagai sistem pengeringan yang dioperasikan dengan suhu rendah dan tinggi. Dalam sistem pengeringan yang dioperasikan dengan suhu rendah, kadar air produk dibawa ke kondisi keseimbangan dengan mengeringkan udara menggunakan ventilasi yang tepat. Sistem pengeringan suhu tinggi digunakan ketika laju pengeringan cepat diperlukan untuk produk dengan kadar air tinggi [2].

Tinjauan studi kinerja pengering surya yang berbeda dipublikasikan oleh Mustayen dkk[3]. Pengering mode tidak langsung, langsung, dan campuran yang telah menunjukkan potensi pengeringan produk pertanian di negara-negara tropis dan subtropis dibahas. Selain mengidentifikasi mode pengering matahari aktif dan pasif, mereka juga menyoroti pengaruh lingkungan pada energi matahari (memanfaatkan) yang memainkan peran penting dalam sektor pengeringan surya. Klasifikasi prosedur pengeringan matahari dibuat berdasarkan pada tahap pemrosesan, lokasi pengeringan, atau pemahaman terhadap radiasi matahari [Gambar 1] [Gambar 2]. Makalah ini juga menyajikan teknologi terbaru yang dapat membantu meningkatkan pengering surya yang ada



Gambar 1. Klasifikasi metode pengeringan surya[1]



Gambar 2. Jenis-jenis pengeringan surya[2]

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jenis-Jenis Pengereng Surya

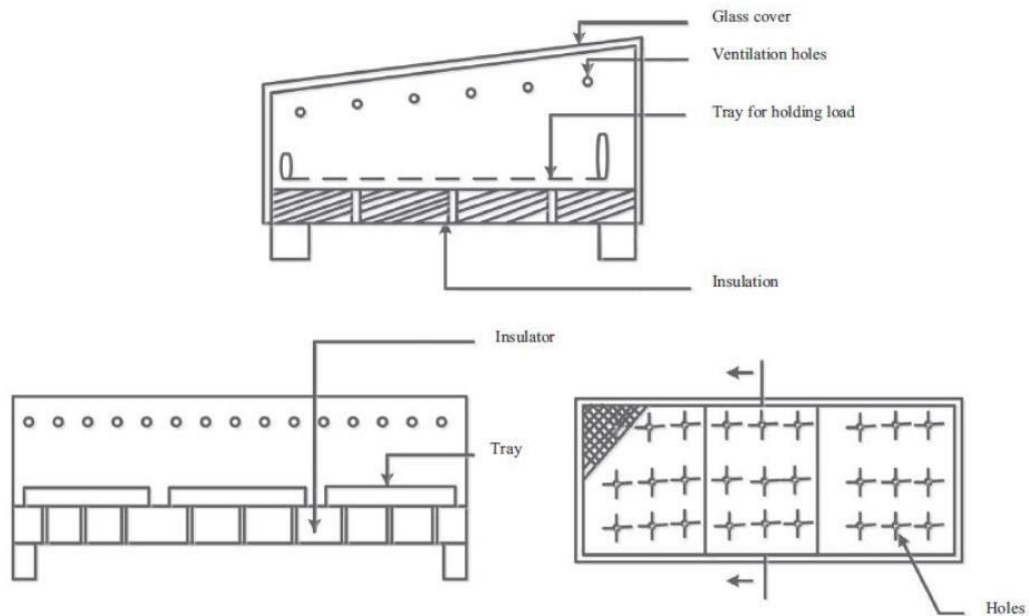
2.1.1 pengereng surya langsung

Seperti yang disebutkan sebelumnya, pengeringan surya adalah alternatif yang baik untuk pengeringan matahari terbuka. Di dalam sektor pertanian, pengeringan sejumlah kecil buah-buahan, tanaman, dan sayuran, pengering kotak telah dikembangkan, menggunakan bahan yang tersedia secara lokal, oleh petani sendiri. Dalam pengering surya jenis ini, penutup transparan digunakan untuk mengurangi kehilangan panas, dan secara bersamaan memberikan perlindungan dari hujan dan debu. Aerasi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan air yang diuapkan disediakan oleh udara yang didorong ke atas. Di banyak negara, sangat sedikit jumlah petani yang dapat menghasilkan 80% tanaman selama waktu produksi.

Gambar 3 menunjukkan prinsip pengeringan pengering surya langsung. Contoh terbaik dari pengering surya langsung adalah tipe kotak atau pengering kabinet. Pengering surya tipe langsung biasanya digunakan di area yang menerima sinar matahari langsung untuk periode yang lebih lama di siang hari. Di sini, kabinet pengeringan dibangun dari kayu pres setebal 1 cm dan sepenuhnya diinsulasi oleh wol kaca di bagian dalam, belakang, dan bawahdinding. Dinding depan yang miring ditutupi oleh lembaran kaca tebal untuk memungkinkan sinar matahari melewatinya. Dinding transparan dapat ditutupi dengan lembaran buram dan terisolasi untuk mode pengering tidak langsung. Sisi belakang pengering memiliki lubang pembuangan yang melaluinya udara lembab dihisap oleh kipas. Bagian terendah dari dinding depan dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengarahkan udara panas dari kolektor surya ke dalam ruangan menggunakan blower sentrifugal.

Yefri Chan dkk. membahas metode baru menggunakan pengering surya langsung [Gambar 4a dan 4b]. Pengering tipe bed datar konvensional memiliki kelemahan karena memiliki hasil pengeringan yang tidak homogen. Karena itu, untuk mendapatkan pengering surya tipe resirkulasi nonhomogen maka digunakan konveyor pneumatik sebagai peralatan resirkulasi. Produk yang dikeringkan diangkat dalam konveyor pneumatik cepat panas dan terjadi perpindahan massa yang menghasilkan proses pemerataan dan membuat hasil akhir pengeringan lebih homogen. Pengering matahari lengkap terdiri dari hopper pengumpan, blower sentrifugal, konveyor pneumatik dan struktur transparan yang bertindak sebagai ruang pengering yang mengandung hopper pemutar di bagian atas. Konveyor pneumatik digunakan untuk melakukan resirkulasi biji-bijian dan melakukan proses pengeringan berkelanjutan[5]. Namun, pengering surya jenis ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Misalnya, untuk tanaman dapat berubah warna karena paparan langsung dengan radiasi matahari. Kelembaban kompresi di dalam penutup kaca juga mengurangi transitivitasnya[3].

Pengering surya langsung memiliki konstruksi sederhana dan lebih murah yang melindungi produk pengeringan dari debu, hujan, puingpuing, debu, dan lain-lain. Tapi pengering surya langsung juga memiliki beberapa kekurangan dalam fungsinya seperti produk terlalu panas, kualitas produk yang tidak diinginkan, dan kapasitas pengeringan terbatas[2].



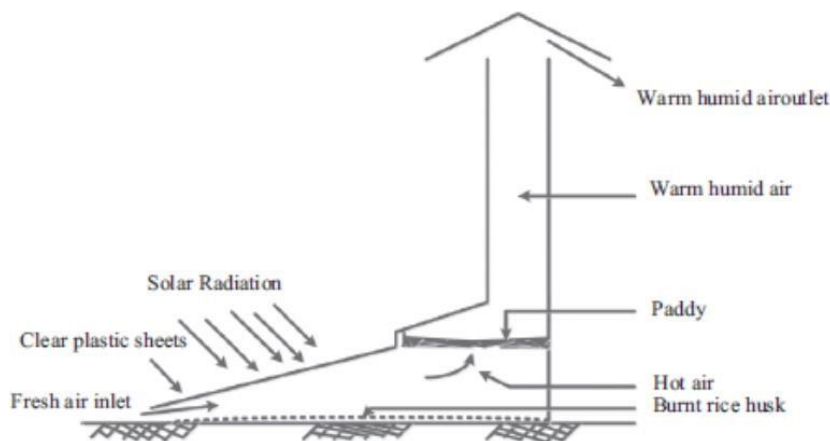
Gambar 3. Pengering surya langsung[3]



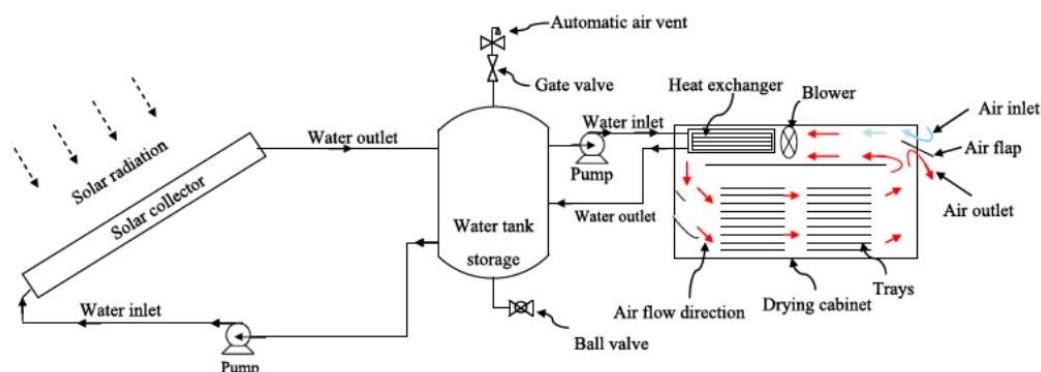
Gambar 4. Pengering surya dengan konveyor pneumatik[5]

2.1.2 Pengering Surya Tidak Langsung

Dalam pengering surya tidak langsung, panas matahari pertama kali dikumpulkan oleh kolektor surya dan kemudian diteruskan ke kabinet pengering, di mana pengeringan terjadi [Gambar 5]. S. Nabnean dkk. mendeskripsikan desain dan kinerja pengering surya tidak langsung untuk pengeringan tomat ceri dehidrasi dehidrasi[6]. Karena warna tomat ceri sensitif terhadap radiasi matahari UV, jenis pengering matahari tidak langsung dipilih untuk mengeringkannya. Karena pengering dimaksudkan untuk digunakan di daerah tropis Thailand dengan kondisi cuaca yang seringkali buruk, penyimpanan termal digunakan untuk mengatasi masalah yang disebabkan oleh kondisi cuaca. Pemanas air matahari dengan tangki penyimpanan air dipilih karena pengisian dan pengosongan energi panas dari tangki penyimpanan dapat dilakukan secara bersamaan dan fluktuasi udara pengeringan suhu dapat dikurangi, karena inersia termal yang tinggi dari tangki penyimpanan. Pengering surya yang diusulkan terdiri dari kolektor surya, lemari pengering, penukar panas aliran silang dan unit penyimpanan panas. Tampilan skematis pengering surya baru ditunjukkan pada Gambar 6. Air panas diedarkan ke dalam tabung penukar panas aliran silang di mana panas dipindahkan dari air panas ke udara pengeringan. Udara panas dari penukar panas dipaksa di dalam pengering kabinet untuk pengeringan secara osmotik tomat dan ceri. Tangki penyimpanan panas digunakan selama waktu ketika sinar matahari tidak cukup.

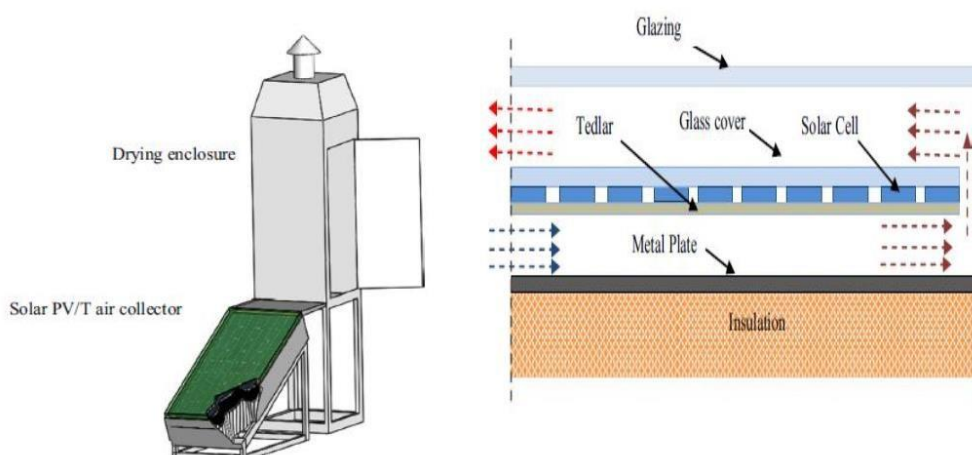


Gambar 5. Pengering surya tidak langsung[3]



Gambar 6. Diagram skematik pengering surya S. Nabnean dkk.[6]

Mohamed El Amine Slimani dkk. disajikan studi tentang konfigurasi PV/T kolektor surya hibrida yang dapat ditanam dalam sistem pengering surya tidak langsung[7]. Kolektor udara PV/T adalah berdasarkan modul fotovoltaik mono-kristal. Pandangan diagram skematis kolektor hibrida PV/T ditunjukkan pada Gambar 7. Ketika radiasi matahari jatuh pada sel surya diubah menjadi listrik dan panas. Radiasi yang melewati modul PV diserap oleh pelat logam aluminium. Karena interaksi foto-termal, modul PV dipanaskan sehingga dalam hal ini mereka secara signifikan kehilangan efektivitas konversi listrik mereka. Oleh karena itu pemindahan panas dari modul PV sangat penting. Untuk kolektor jalur ganda, udara pertama memasuki saluran aliran yang dibentuk oleh modul PV dan pelat logam. Setelah itu, memasuki saluran aliran yang dibentuk oleh modul PV dan tutup kaca. Sementara itu, suhu aliran udara meningkat akibat panas diserap dari modul PV dan pelat logam yang mengarah ke peningkatan efisiensi energi sistem. Jadi dengan pola kolektor udara PV/T hibrida ini, lebih banyak energi yang diperoleh per unit luas. Itu hasil numerik menunjukkan efektivitas energi konfigurasi kolektor hibrida ini dan khususnya penggunaannya yang menarik dalam sistem pengering surya tidak langsung yang memberikan suhu udara yang lebih cocok untuk mengeringkan produk pertanian. Nilai-nilai efisiensi energi listrik, termal dan keseluruhan masing-masing mencapai 10,5%, 70% dan 90%, dengan laju aliran massa 0,0155 kg/detik dan data sampel cuaca untuk bulan Juni di situs Aljir, Aljazair.

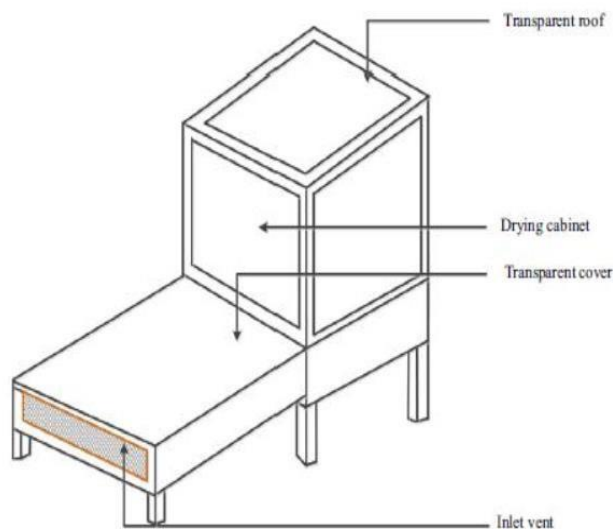


Gambar 7. Sistem pengering surya tidak langsung dengan kolektor udara PV/T[7]

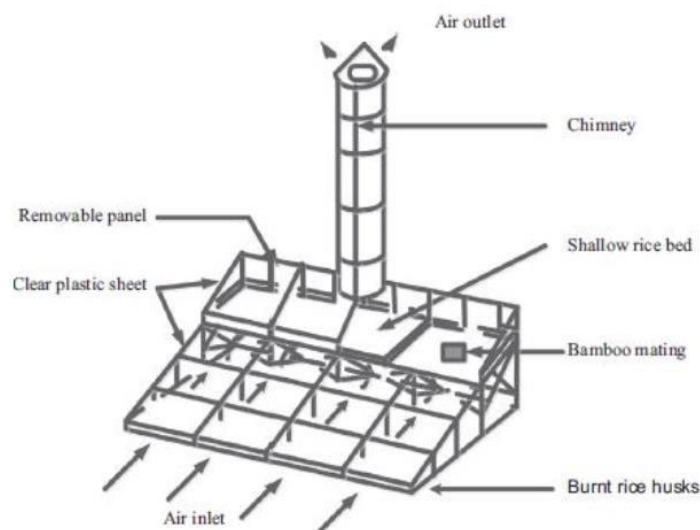
2.1.3 Pengering Surya Mode Campuran

Ilustrasi isometrik dari pengering mode campuran ditunjukkan pada Gambar 8. Pengering surya mode campuran tidak memiliki bagian yang bergerak, itulah sebabnya disebut pengering pasif. Jenis pengering ini memperoleh energi dari sinar matahari yang masuk melalui kolektor surya. Permukaan bagian dalam kolektor dicat hitam, dan sinar matahari dimanfaatkan dengan menjebak panasnya udara dikumpulkan di dalam ruangan. Penelitian sebelumnya yang meneliti desain dan kinerja semacam ini pengering surya memverifikasi proses pengeringan dipercepat dan kemampuannya untuk mengeringkan produk pertanian dengan cepat mencapai tingkat kelembaban kondisional yang lebih baik, sehingga ideal untuk pengawetan makanan. Gambar 9 menunjukkan fitur-fitur penting dari pengering surya mode campuran. Pengering jenis ini terdiri dari yang terpisah kolektor surya dan unit pengeringan. Penutup transparan ditempel di atas pengering, kolektor surya, dan unit pengeringan. Kolektor berfungsi untuk menerima radiasi matahari[3].

Jenis mode campuran, tipe kotak, dan sistem pengeringan surya tipe lantai terbuka untuk beras kasar telah dilaporkan oleh Zaman dan Bala. Mereka juga menyajikan beberapa persamaan pada aliran udara alami yang memiliki dampak besar pada penghitungan nilai yang digunakan dalam sistem pengeringan semacam ini. Suhu pengeringan dan konstanta kelembaban adalah variabel yang paling penting untuk mengendalikan laju pengeringan. Dibandingkan dengan tiga jenis pengering, pengering mode campuran adalah yang terbaik dari ketiganya karena memiliki tingkat pengeringan tertinggi, diikuti oleh pengering kotak[3].



Gambar 8. Ilustrasi isometrik pengering surya mode campuran[3]



Gambar 9. Fitur-fitur penting pengering surya mode campuran[3]

Namun, sistem pengeringan surya konveksi alami memiliki kapasitas terbatas. Selain itu laju pengeringan tertunda dan sangat tergantung pada kondisi atmosfer karena sedikit mengapung mendorong aliran udara di dalam pengering, sehingga mengurangi kualitas produk pengeringan terutama di kondisi cuaca buruk.

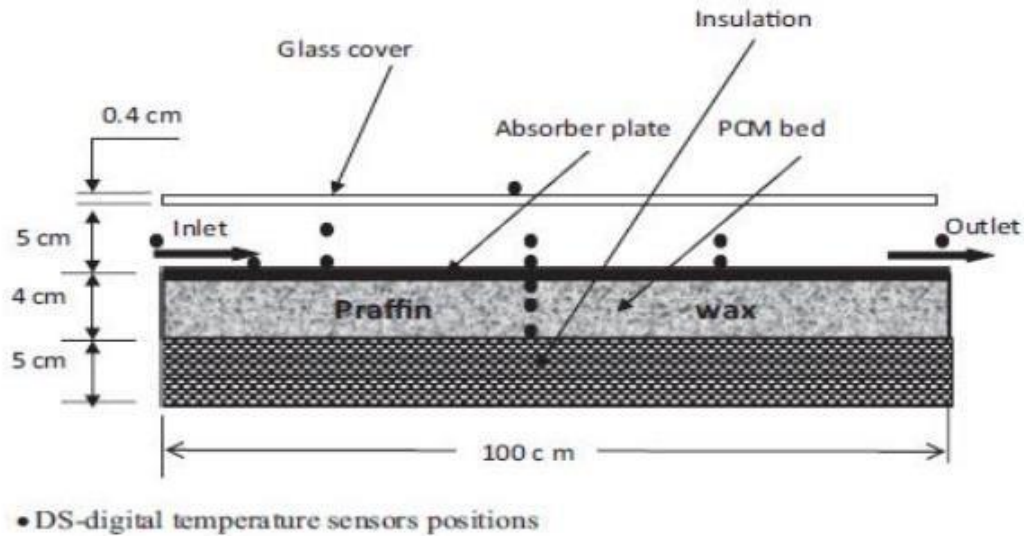
2.1.4 Pengering Surya Konveksi Paksa

Listrik diperlukan untuk mengoperasikan kipas pengering surya konveksi paksa. Namun banyak daerah pedesaan tidak memiliki listrik atau harus mengeluarkan biaya tinggi untuk menghasilkan listrik yang digunakan untuk menjalankan pengering jenis ini. Oleh karena itu, jenis pengering ini tidak banyak digunakan di banyak negara berkembang. Untuk menghindari kerugian yang disebutkan di atas, pengering surya konveksi alami mungkin dapat digunakan. Jenis pengering ini tidak tergantung pada listrik seperti pengering surya konveksi paksa. Keuntungannya termasuk biaya energi yang rendah, penyusutan yang ideal pada periode pengeringan, kapasitas pengeringan yang lebih baik, minimalisasi kehilangan massa, dan kualitas yang baik dari produk kering[3].

Y.I. Sallam dkk. mempelajari perbandingan dua purwarupa pengering surya identik (langsung dan tidak langsung) memiliki dimensi yang sama digunakan untuk mengeringkan seluruh mint[8]. Kedua prototipe dioperasikan dalam mode konveksi alami dan paksa. Dalam penelitian itu, pengeringan mint diselidiki kondisi pengeringan matahari dengan mode konveksi alami dan paksa. Tingkat pengeringan mint di bawah konveksi paksa lebih tinggi daripada mint di bawah konveksi alami, terutama pada jam-jam pertama pengeringan (hari pertama). Untuk konveksi paksa, laju pengeringannya sama, baik pengeringan langsung maupun tidak langsung, karena suhu dan kecepatan udara di atas baki hampir sama.

A.E. Kabeel dkk. mempresentasikan penelitian eksperimental dari plat surya datar dan plat surya V-bergelombang untuk pemanas udara dengan PCM bawaan [Gambar 10] sebagai bahan penyimpanan energi termal[9]. Pemanas udara tenaga surya dengan lilin parafin karena PCM dirancang dan diuji di bawah kondisi cuaca yang berlaku di Kota Tanta, Mesir. Parameter yang mempengaruhi kinerja termal plat surya datar dan V-bergelombang untuk pemanas udara disajikan dengan dan tanpa PCM. Parameter ini termasuk radiasi matahari, perbedaan suhu udara di pemanas, koefisien perpindahan panas konvektif antaraplat penyerap dan udara yang mengalir, efisiensi termal sesaat, efisiensi rata-rata harian dan Waktu pembekuan PCM. Efek mengubah ketebalan PCM di bawah plat absorber jugadipelajari. Dari hasil percobaan, ditemukan bahwa ketika menggunakan PCM, suhu outlet pemanas udara V-bergelombang lebih tinggi dari suhu sekitar 1,5-7,2 selama 3,5 jam setelah matahari terbenam dibandingkan dengan 1-5,5 selama 2,5 jam setelah matahari terbenam untuk pemanas udara surya plat datar saat laju aliran massa adalah 0,062 kg/detik. Disimpulkan pula bahwa efisiensi harian pemanas

dengan plat V-bergelombang menggunakan PCM adalah 12% lebih tinggi dari yang sesuai tanpa menggunakan PCM dan itu juga 15% dan 21,3% lebih tinggi dari nilai yang sesuai ketika plat datar digunakan dengan dan tanpa PCM ketika laju aliran massa masing-masing 0,062 kg/detik. Gambar 11 menunjukkan desain skematis untuk pengering surya konveksi paksa tidak langsung.



Gambar 10. Gambar potongan pemanas udara tenaga surya dengan saluran PCM [9]



Gambar 11. Diagram skematik pengering surya tidak langsung konveksi paksa[10]

3. Kesimpulan

Alternatif terbaik untuk mengatasi kerugian dari pengeringan matahari terbuka tradisional dan penggunaan bahan bakar fosil, adalah pengembangan pengering surya. Selain mitigasi penggunaan bahan bakar fosil, kualitas tanaman kering juga lebih tinggi dan hilangnya produk kering sangat berkurang. Makalah ini menyajikan studi tentang desain, kinerja, dan aplikasi berbagai jenis pengering surya tersedia saat ini. Jenis yang diteliti adalah pengering surya langsung, tidak langsung, mode campuran, aktif, dan pasif. Solusi terbaik untuk mengatasi masalah yang terkait dengan pengeringan tradisional (misalnya pengeringan matahari terbuka) dibahas, bersama dengan cara yang digunakan untuk membuat pengering surya sederhana, murah, dan mudah.

Daftar pustaka

- [1] S. Vijayavenkataraman, S. Iniyar, and R. Goic, "A review of solar drying technologies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 2652–2670, 2012.
- [2] M. Kumar, S. K. Sansaniwal, and P. Khatak, "Progress in solar dryers for drying various commodities," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 346–360, 2016.
- [3] G. M. B. Mustayen, S. Mekhilef, and R. Saidur, "Performance study of different solar dryers : A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 34, pp. 463–470, 2014.
- [4] O. V Ekechukwu and B. Norton, "Review of solar-energy drying systems II : an overview of solar drying technology," vol. 40, 1999.
- [5] Y. Chan, N. D. T. M, and A. Kamaruddin, "Solar Dryer with Pneumatic Conveyor," *Energy Procedia*, vol. 65, pp. 378–385, 2015.
- [6] S. Nabnean, S. Janjai, S. Thepa, K. Sudaprasert, R. Songprakorp, and B. K. Bala, "Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes," *Renew. Energy*, vol. 94, pp. 147–156, 2016.
- [7] M. El, A. Slimani, M. Amirat, S. Bahria, I. Kurucz, and M. Aouli, "Study and modeling of energy performance of a hybrid photovoltaic / thermal solar collector : Configuration suitable for an indirect solar dryer," *Energy Convers. Manag.*, vol. 125, pp. 209–221, 2016.
- [8] Y. I. Sallam, M. H. Aly, and A. F. Nassar, "Solar drying of whole mint plant under natural and forced convection," *J. Adv. Res.*, vol. 6, no. 2, pp. 171–178, 2015.
- [9] A.E. Kabeel, A. Khalil, S.M. Shalaby, and M. E. Zayed, "Experimental investigation of thermal performance of flat and v-corrugated plate solar air heaters with and without PCM as thermal energy storage," *Energy Convers. Manag.*, vol. 113, pp. 264–272, 2016.
- [10] A.A. El-sebaili and S.M. Shalaby, "Experimental investigation of an indirectmode forced convection solar dryer for drying thymus and mint," *Energy Convers. Manag.*, vol. 74, pp. 109–116, 2013.