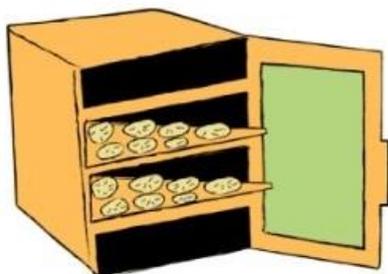
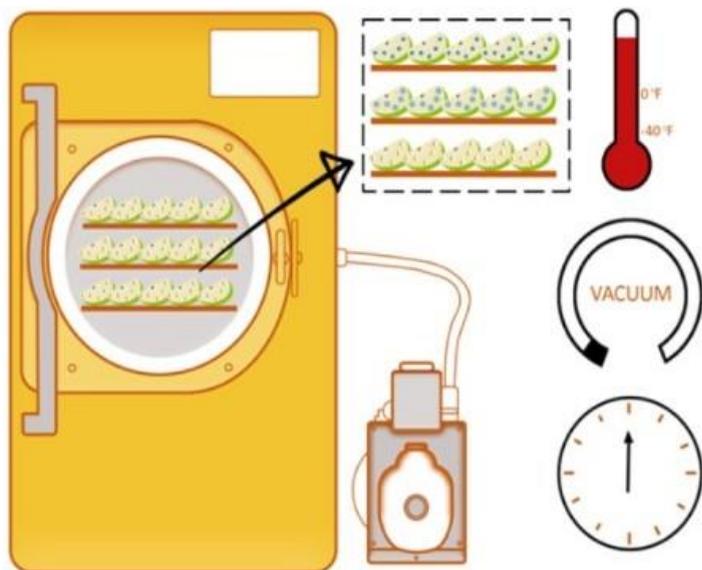


Peralatan



# PENGERING PANGAN



**Penulis:**

**Nurul Asiah, Dessy Agustina Sari,**

**Meilya Suzan Triyastuti, dan Mohamad Djaeni**

## **UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 28 TAHUN 2014**

### **TENTANG**

### **HAK CIPTA**

#### **Lingkup Hak Cipta**

##### **Pasal 1 Ayat 1:**

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

##### **Ketentuan Pidana:**

##### **Pasal 113**

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

##### **Pasal 114**

Setiap Orang yang mengelola tempat perdagangan dalam segala bentuknya yang dengan sengaja dan mengetahui membiarkan penjualan dan/atau penggandaan barang hasil pelanggaran Hak Cipta dan/atau Hak Terkait di tempat perdagangan yang dikelolanya sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10, dipidana dengan pidana denda paling banyak Rp100.000.000,00 (seratus juta rupiah).

Nurul Asiah, Dessy Agustina Sari, Meilya Suzan Triyastuti,  
dan Mohamad Djaeni

# PERALATAN PENGERING PANGAN

Diterbitkan oleh



## **Peralatan Pengering Pangan**

Penulis : Nurul Asiah, Dessy Agustina Sari,  
Meilya Suzan Triyastuti, dan Mohamad Djaeni

Tata Letak : Anisa

Desain Cover : Nuri

### **Penerbit:**

#### **CV. Bintang Semesta Media**

Anggota IKAPI Nomor 147/DIY/2021

Jl. Maredan No. F01, Maredan, RT.06/RW.41,

Sendangtirto, Berbah, Sleman, Yogyakarta 55573

Telp. (0274)2254549. Hp. 085865342317

Facebook: Penerbit Bintang Madani

Instagram: @bintangpustaka

Website: [www.bintangpustaka.com](http://www.bintangpustaka.com)

Email: [bintangsemestamedia@gmail.com](mailto:bintangsemestamedia@gmail.com)

[redaksibintangpustaka@gmail.com](mailto:redaksibintangpustaka@gmail.com)

Cetakan Pertama, Oktober 2023

Cetakan Pertama, Oktober 2023

Bintang Semesta Media Yogyakarta

153 hal : 15.5 x 23 cm

ISBN Cetak : 978-623-190-516-1

ISBN Digital : 978-623-190-517-8 (PDF)

Dicetak Oleh:

Percetakan Bintang 085865342319

Hak cipta dilindungi undang-undang

*All right reserved*

Isi di luar tanggung jawab percetakan

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala pujian dan ungkapan syukur kami haturkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan petunjuk-Nya kami telah menyelesaikan buku yang berjudul **“Peralatan Pengering Pangan”**. Buku ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi akademisi maupun praktisi yang memiliki focus bidang pengeringan pangan.

Pengeringan merupakan salah satu teknologi pengawetan pangan yang sudah lama diaplikasikan oleh manusia. Perkembangan teknologi memungkinkan berbagai jenis pilihan peralatan pengering pangan. Memahami prinsip kerja, desain peralatan, aplikasi, kelebihan dan kekurangan peralatan tersebut membantu kita dalam menentukan jenis peralatan pengering yang tepat untuk jenis bahan pangan yang akan dikeringkan. Pemilihan peralatan pengering yang tepat akan bermanfaat untuk mempertahankan mutu produk kering yang dihasilkan. Selain itu, proses pengeringan juga akan menjadi lebih efektif, efisien dan ekonomis.

Penulis menyadari bahwa masih banyak keterbatasan informasi dalam penyusunan buku ini. Namun demikian, kami berharap semoga tulisan singkat dalam buku ini bisa menambah khasanah keilmuan dan pemahaman bagi para pembaca.

Jakarta, Oktober 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
SUN DRYER DAN SOLAR DRYER .....	1
POTENSI ENERGI SURYA.....	4
PRINSIP KERJA DAN DESAIN PERALATAN.....	9
BEBERAPA APLIKASI .....	23
KARAKTERISTIK PRODUK.....	32
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN .....	37
REFERENSI .....	40
<i>CABINET/TRAY DRYER</i> .....	44
DESAIN PERALATAN .....	45
APLIKASI .....	49
KARAKTERISTIK PRODUK KERING CABINET DRYER.....	50
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN .....	51
REFERENSI .....	52
FLUIDIZED BED DRYER.....	55
PRINSIP KERJA .....	57
DESAIN PERALATAN .....	59
APLIKASI .....	62
KARAKTERISTIK PRODUK.....	64
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN .....	65
REFERENSI .....	67

SPRAY DRYER.....	70
PRINSIP KERJA .....	73
DESAIN PERALATAN.....	82
APLIKASI .....	89
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN .....	90
REFERENSI .....	92
PENGERING BEKU (FREEZE DRYER).....	97
PRINSIP KERJA .....	100
DESAIN PERALATAN.....	107
APLIKASI .....	110
KARAKTERISTIK PRODUK KERING BEKU .....	112
KELEBIHAN DAN KEKURANGAN .....	115
REFERENSI .....	118
PENGERINGAN DENGAN MEDIA UDARA BERKELEMBABAN RENDAH DAN PERKEMBANGANNYA .....	120
KONSEP DASAR.....	120
APLIKASI .....	122
SISTEM PENGERING DENGAN DEHUMIDIFIKASI UDARA MODEL HYBRID SURYA-BIOMASA .....	145
SISTEM PENGERING MODEL HYBRID SURYA-BIOMASA GENERASI 4.0 .	146
REFERENSI .....	148
BIODATA PENULIS.....	150

## SUN DRYER DAN SOLAR DRYER



Gambar 1-1. Ilustrasi Aplikasi Pengeringan Dengan Sinar Matahari – Zaman Kuno  
(Sumber: Ilustrasi penulis)

Matahari sebagai pusat tata surya telah memastikan planet bumi tetap berputar pada orbitnya. Kita sadari atau tidak, kehidupan alam semesta tidak lepas dari peran besar matahari, termasuk dalam kehidupan di bumi yang kita tinggali. Manfaat energi matahari dalam kehidupan kita sehari-hari adalah sangat penting, sebagaimana peran udara, air dan makanan. Matahari memberikan energi yang dibutuhkan untuk berbagai aktivitas kehidupan di bumi, dalam bentuk panas maupun cahaya.

Panas matahari menjadikan bumi cukup hangat dan nyaman untuk ditinggali, suhu tersebut tepat untuk menunjang berbagai jenis kehidupan di Bumi. Kisaran suhu yang dipancarkan juga tepat untuk membuat air di beberapa daerah tetap berbentuk cair, yang mana keberadaan air tersebut merupakan salah satu penyokong kehidupan. Tidak hanya itu, hadirnya panas matahari yang mempengaruhi suhu bumi juga berpengaruh terhadap arah angin, siklus hujan, cuaca, dan iklim. Disisi lain, cahaya matahari adalah penerang penanda siang dan malam. Manfaat penting dari keberadaan sinar

matahari adalah fungsinya dalam membantu fotosintesis pada tumbuhan berklorofil. Sebagai hasilnya tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, serta menghasilkan berbagai produk yang berperan sebagai sumber pangan bagi hewan maupun manusia.

Pemanfaatan radiasi sinar matahari bukanlah konsep baru. Orang-orang berabad-abad yang lalu telah menggunakan matahari untuk aktivitas sehari-hari, salah satunya adalah untuk proses pengeringan. Pengeringan dengan memanfaatkan sinar matahari adalah salah satu metode pengawetan tertua. Pada zaman dahulu, manusia prasejarah harus bergantung pada alam dan apa yang tersedia di daerah terdekat mereka untuk bertahan hidup. Hal tersebut tentu saja sangat bergantung pada kemampuan mereka untuk mengawetkan makanan berlebih pada musim tertentu.

Pada saat itu, sumber daya yang paling besar untuk pengawetan makanan adalah matahari. Beberapa referensi menunjukkan bahwa budaya Timur Tengah dan Oriental adalah yang pertama menggunakan pengeringan matahari untuk mengawetkan ikan dan daging dari hewan liar sejak 12.000 SM. Orang-orang di Solvieux (Perancis Selatan) pada sekitar 10.000 SM juga melakukan hal yang sama, mereka telah mengeringkan ikan hasil tangkapan mereka di bawah sinar matahari. Selain itu, situs arkeologi di Mesir dan Mesopotamia menunjukkan rekaman bahwa makanan telah diawetkan menggunakan metode pengeringan matahari telah ada sejak 2.800 SM. Orang-orang Mesir kuno telah mengeringkan berbagai jenis buah-buahan dan kacang-kacangan, seperti apel, apricot, anggur dan almond. Bangsa Romawi juga konon memiliki sudut khusus untuk makanan yang diawetkan dengan sinar matahari seperti buah-buahan kering.

Hingga saat ini, kebiasaan mengonsumsi buah kering sudah semakin meluas. Kita bisa mendapatkan berbagai produk buah kering dalam kemasan yang dijual di pasar tradisional maupun modern. Jika diperhatikan, hampir 50% dari jenis buah-buahan kering yang dijual adalah kismis, kurma, plum, aprikot, persik, apel, dan pir. Selain buah, masyarakat kuno juga memanfaatkan sinar matahari untuk mengeringkan berbagai produk sereal, seperti gandum, beras dan jagung. Di sekitar abad 12 - 19, orang-orang Itali juga telah menggunakan pengeringan dengan sinar matahari pada pangan olahan seperti, pasta. Selain itu, orang-orang Jepang juga mengeringkan mi yang mereka buat dengan memanfaatkan sinar matahari.

Meskipun telah berlalu ratusan hingga ribuan tahun, metode pengeringan bahan pangan secara tradisional dengan menggunakan sinar matahari secara langsung (*sun drying*) masih banyak dilakukan hingga saat ini (lihat Gambar 1-2). Sebagaimana yang kita ketahui, alam bukanlah seperti alat yang bisa dikendalikan. Intensitas sinar matahari, kelembaban udara, laju angin, curah hujan, dan berbagai variabel lingkungan mungkin saja membuat proses pengeringan dengan sinar matahari menjadi tidak mudah. Menyadari kondisi tersebut maka manusia mulai melakukan pengembangan dari Sun drying menjadi *Solar drying*.



Gambar 1-2. Pengeringan Solar Drying Untuk Berbagai Komoditas:  
a. Peach di Bolivia, b. Biji Kopi di Per dan c. Cabai di Peru  
(Sumber: C. Bertello, GIZ EnDev Peru dari energypedia.info)

Pengeringan dengan metode solar drying dilakukan dengan memanfaatkan sinar matahari secara tidak langsung. Secara sederhana, prinsip dari **Solar drying** adalah dengan mengumpulkan energi matahari dalam suatu ruang pengering tertutup dengan memanaskan volume udara di kolektor surya dan mengalirkan udara panas dari kolektor menuju ruang pengering. Kenaikan suhu pada volume udara tertentu dalam ruang pengering akan menurunkan kelembaban udara relatif dan meningkatkan laju pengeringan. Beberapa jenis solar dryer dilengkapi dengan kipas untuk mensirkulasikan udara dalam ruang pengering. Aliran udara panas yang stabil ke dalam ruang pengering yang bersirkulasi melewati bahan pangan akan mempercepat proses pengeringan.

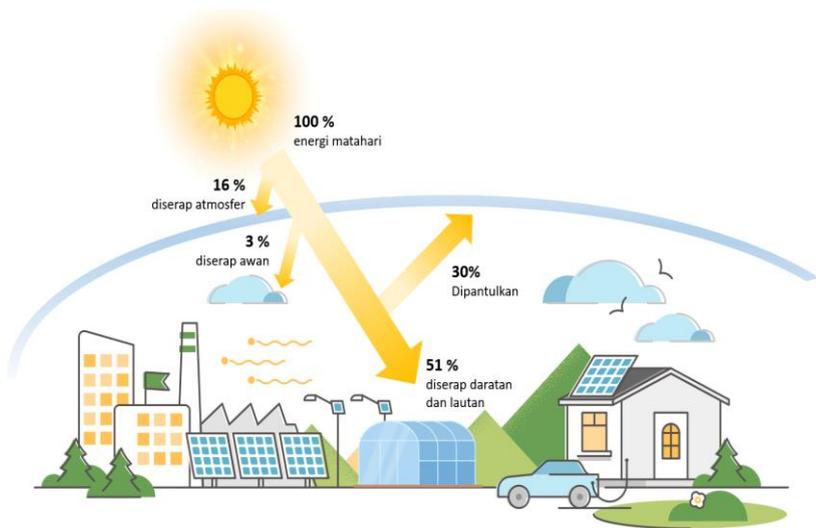
Teknologi pengeringan surya telah banyak diaplikasikan untuk berbagai pangan segar maupun olahan, baik pangan nabati maupun hewani. Meskipun terlihat sederhana, mengeringkan pangan dengan memanfaatkan sinar matahari bukanlah hal yang gampang. Selain potensi dan manfaatnya yang besar, terdapat pula berbagai tantangan dan hambatan yang harus dihadapi. Dengan demikian, tentu saja perlu pengembangan teknologi pengering surya untuk mampu merekayasa proses pengeringan yang efektif, efisien dan tetap menghasilkan produk kering yang bermutu tinggi.

## **POTENSI ENERGI SURYA**

Energi surya atau matahari merupakan salah satu jenis energi yang ketersediaannya sangat melimpah di alam, khususnya di daerah tropis. Hampir setiap hari energi tersebut dapat dilihat dalam bentuk cahaya tampak, dan dapat dirasakan sebagai panas. Mengacu pada level spektrumnya, matahari digolongkan sebagai bintang deret utama G (G2V),

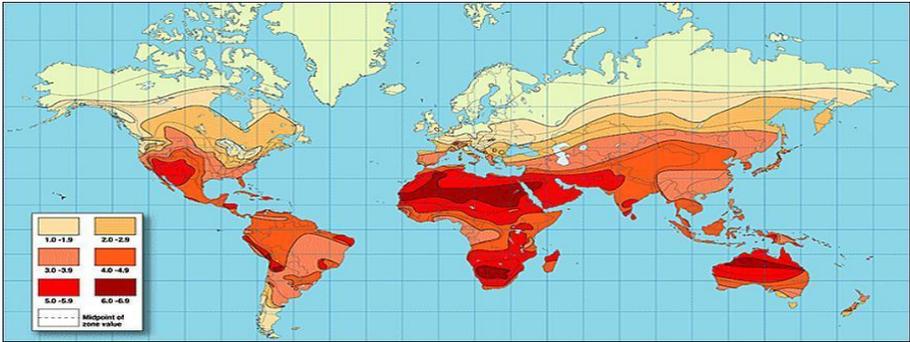
dimana G2 menandakan bahwa suhu permukaan matahari adalah sekitar 5778 K (5505 °C) dan V menunjukkan bahwa energi matahari tercipta dari terjadinya reaksi fusi nuklir nukleus hidrogen menjadi helium. Dimana produk reaksi tersebut menghasilkan energi yang sangat besar dalam bentuk panas dan cahaya. Energi hasil reaksi fusi dalam inti matahari sangat besar karena setiap detik terjadi reaksi fusi sebesar 620 juta ton metrik hidrogen. Ilmuwan memperkirakan seluruh hidrogen dalam matahari baru akan habis dalam kurun waktu sekitar 4,5 miliar tahun ke depan.

Besarnya energi panas dan cahaya yang ada di permukaan matahari terpancarkan hingga bumi. Adapun jumlah rata-rata radiasi matahari yang mampu menembus atmosfer dan sampai ke permukaan bumi adalah sekitar 51% dari total energi yang masuk (lihat Gambar 1-3). Sedangkan 49% yang tidak mencapai bumi, 30% dipantulkan kembali ke angkasa dan 19% diserap oleh atmosfer dan awan. Total energi matahari yang diserap oleh atmosfer bumi, lautan, dan daratan adalah sekitar 3.850.000 exajoule (EJ) per tahun. Penggunaan energi bumi oleh umat manusia adalah sekitar 500 eksa joule per tahun. Dimana nilai tersebut adalah sekitar 0,01% dari total energi tahunan yang berasal dari matahari. Setiap hari, bumi menerima sekitar 4000 Triliun kWh radiasi gelombang elektromagnetik dari matahari. Pada keadaan cuaca cerah, permukaan bumi bisa menerima sekitar 1000 Watt energi matahari per-meter persegi. Setidaknya, selama 6 jam dalam sehari radiasi sinar matahari terpancar sekitar 520-820 W/m<sup>2</sup> per jam.



Gambar 1-3. Komposisi radiasi yang sampai ke Bumi  
Sumber: Ilustrasi penulis

Keberlimpahan sumber energi matahari cukup besar di beberapa negara. Peta pada Gambar 1-4 menunjukkan potensi energi matahari di berbagai belahan bumi. Daerah yang berwarna merah marun, merah, dan oranye merupakan wilayah utama dunia yang berpotensi menghasilkan listrik tenaga surya. Hingga saat ini Instalasi tenaga telah mengalami peningkatan pesat di seluruh dunia karena negara-negara meningkatkan upaya energi terbarukan mereka dan berupaya mengurangi emisi karbon dari pembangkit listrik tenaga fosil. China merupakan negara yang paling banyak memasang fasilitas solar energi. Pada tahun 2019, negara tersebut mampu menghasilkan energi solar sebesar 205 GW.



Gambar 1-4. Potensi energi matahari di berbagai belahan bumi  
(Sumber: solarcellcentral.com)

Pengeringan merupakan salah satu proses yang paling ekstensif dalam penggunaan energi. Proses pengeringan mengkonsumsi antara 12 hingga 25% dari total energi dalam proses industri. Sekitar 30% dari total konsumsi energi dunia digunakan oleh sektor pertanian, dimana 3,62% digunakan untuk mengeringkan produk pertanian. Jika besarnya potensi energi matahari bisa dimanfaatkan untuk proses pengeringan maka akan terjadi penghematan energi bahan bakar fosil yang sangat signifikan. Lebih lanjut, potensi emisi akibat pembakaran bahan bakar fosil yang bisa menyebabkan perubahan iklim juga bisa diminimalisir.

Seiring bertambahnya populasi dunia dan kesadaran akan konsumsi pangan sehat maka akan diikuti dengan kenaikan kebutuhan pangan yang bermutu tinggi, bisa disimpan cukup lama, stabil dan efisien ketika proses distribusi. Minimalisir kehilangan pangan pasca pemanenan hasil pertanian dan penurunan mutu produk pasca panen juga sangat penting untuk memastikan ketahanan pangan. Produk yang mudah rusak seperti buah-buahan, sayuran, umbi-umbian atau bahkan daging dan ikan dapat dicegah dari pembusukan dengan pengeringan menggunakan energi matahari.

Terutama di negara-negara di mana teknologi industri untuk pengawetan tidak tersedia, solusi sederhana seperti pengeringan matahari memiliki potensi yang besar untuk diterapkan.

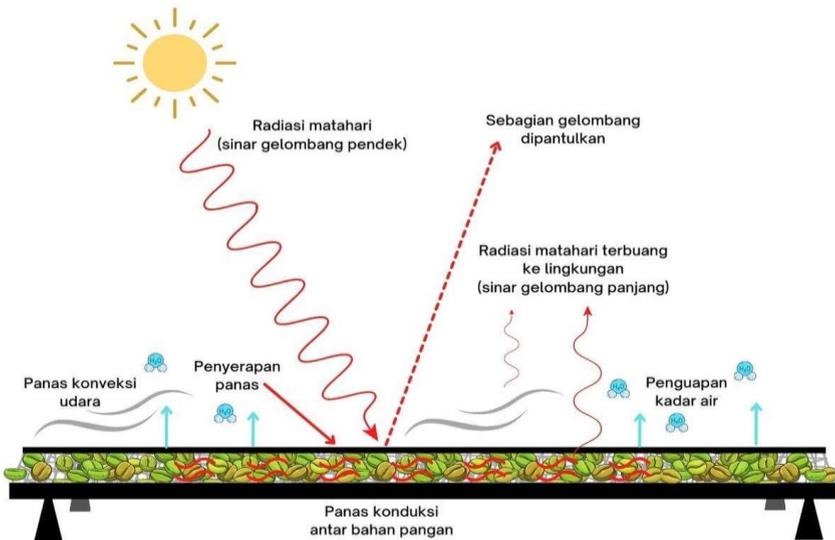
Meskipun pengeringan pangan secara tradisional dengan sinar matahari secara langsung telah dipraktikkan selama berabad-abad, nyatanya metode tersebut masih diaplikasikan hingga saat ini. Perkembangan teknologi memungkinkan inovasi pengeringan matahari modern (solar dryer) untuk memenuhi standar pasar global yang semakin kompetitif. Hal tersebut tidak hanya meningkatkan mutu produk pangan, namun juga bisa meningkatkan pendapatan petani, yang pada akhirnya juga meningkatkan kesejahteraan mereka.

Secara umum, solar dryer lebih baik dibandingkan dengan pengering matahari secara tradisional karena intensitas panas dalam ruang pengering bisa mencapai dua kali lipat dari panas pengering matahari terbuka. Bahkan, suhu dalam solar dryer bisa mencapai suhu di dalam seperti 72°C sementara suhu di luar ruangan masih 32°C. Hal tersebut memungkinkan pengeringan menjadi lebih cepat dan akan meningkatkan produktivitas operasional. Selain itu, solar dryer juga menjamin mutu pangan menjadi lebih baik, menjamin kesesuaian ekspor untuk berbagai jenis komoditas pangan di berbagai daerah, meningkatkan pendapatan dan ketahanan pangan, khususnya bagi petani skala kecil di daerah terpencil.

## PRINSIP KERJA DAN DESAIN PERALATAN

### Prinsip Kerja Sun Drying

Secara sederhana prinsip kerja dari sun drying adalah dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari yang akan berpindah ke bahan secara radiasi (suhu udara pengering mengikuti suhu udara lingkungan). Selanjutnya udara yang telah panas akan ditransfer secara konveksi menaikkan suhu permukaan bahan dan akan menguapkan molekul air pada lapisan luar bahan yang dikeringkan. Panas selanjutnya dipindahkan secara konduksi dari permukaan ke bagian paling bawah bahan yang tidak kontak dengan panas. Saat kandungan air pada lapisan luar berkurang, air dari lapisan dalam pangan akan berpindah ke lapisan luar dan proses penguapan berlanjut hingga bahan mencapai kadar air tertentu.



Gambar 1-5. Prinsip Kerja Metode Open Sun Drying  
(Sumber: Gambar ulang dari Sharma, 2009)

Mekanisme kerja metode ***Open Sun Drying*** dengan menggunakan energi solar (panas matahari) dapat dilihat pada Gambar 1-5. Bahan pangan umumnya disebarakan di atas bidang tanah datar, terpal, dan lantai semen yang posisinya bisa memudahkan bahan pangan tersebut untuk dapat menyerap gelombang pendek energi matahari dengan sirkulasi udara alami sepanjang hari selama proses pengeringan berlangsung. Sebagian energi akan dipantulkan kembali, sebagian lagi akan diserap bahan pangan sesuai dengan warna bahan pangan tersebut. Radiasi yang terserap akan diubah menjadi energi panas dan suhu bahan pangan akan meningkat. Namun demikian, ada pula material yang terlepasakan kelingkungan selama proses pengeringan ini berlangsung. Gelombang panjang radiasi matahari dari permukaan bahan akan dipantulkan ke lingkungan sekitar melalui udara lembab. Selain itu juga akan terjadi pelepasan panas konvektif karena adanya hembusan angin (udara lembab) pada permukaan bahan pangan. Secara umum, metode *open sun drying* tidak memiliki kualifikasi khusus untuk memenuhi standar mutu akhir produk kering, sehingga terkadang produk/bahan pangan tidak dapat dijual pada kelas pasar internasional.

Terdapat beberapa pilihan yang direkomendasikan untuk pengeringan dengan metode open sun drying, diantaranya:

### **1. *Mat Drying***

Praktik pengeringan dengan metode mat drying dilakukan dengan meletakkan bahan pangan di atas tikar, jaring, atau lembaran plastik untuk dikeringkan. Tikar atau terpal digunakan untuk mencegah produk terkontaminasi dengan batu dan kotoran lainnya. Warna terpal yang digunakan umumnya berwarna gelap untuk memaksimalkan penyerapan

panas. Metode ini juga memungkinkan pengumpulan yang mudah jika terjadi curah hujan. Namun, kekurangannya adalah ada potensi pembasahan kembali dari kelembaban tanah.

## **2. *Pavement Drying***

Metode pengeringan pavement drying umumnya diaplikasikan untuk pengeringan skala besar dengan membuat area khusus dengan lantai yang telah di semen. Metode ini dapat mengeringkan biji-bijian berkapasitas tinggi dan sebagian dapat dimekanisasi dengan menggunakan traktor beroda.

Jika pengeringan matahari dikelola dengan baik, seharusnya dapat menghasilkan produk kering yang bermutu. Untuk meningkatkan kinerja dan hasil produk pengeringan dengan matahari maka perlu dipertimbangkan beberapa hal, seperti:

### **1. Tinggi tumpukan bahan yang dikeringkan idealnya antara 2–4 cm**

Lapisan yang sangat tipis cenderung cepat, jika tidak dikendalikan maka produk akan menjadi sangat kering. Namun, jika lapisan terlalu tebal, maka laju pengeringan menjadi lambat dan berpotensi membuat kadar akhir produk menjadi tidak seragam

### **2. Lakukan rotasi atau pembalikan bahan, setiap periode waktu tertentu**

Rotasi bahan yang sedang dikeringkan penting dilakukan untuk membantu mempercepat proses pengeringan dan akan membuat kadar air akhir produk lebih seragam. Proses rotasi umumnya dilakukan sekitar 30 menit sekali (sesuai karakteristik bahan dan intensitas panas yang diterima bahan).

**3. Segera tutupi bahan yang sedang dikeringkan jika hujan mulai turun.**

Jika produk kembali basah maka prose pengeringan akan semakin lama, bahkan jika terlalu basah maka berpotensi untuk tumbuhnya jamur atau reaksi hidrolisis penyebab penurunan mutu.

**4. Lakukan pemantauan dan pencegahan gangguan hewan.**

Hal tersebut dilakukan untuk mencegah kontaminasi produk yang dikeringkan dengan bahan lain atau berkurangnya produk akibat dimakan hewan.

**5. Jika memungkinkan, lakukan pemantauan suhu udara lingkungan pengering dan kadar air akhir produk.**

Pemantauan suhu dan kadar air dimaksudkan untuk menentukan waktu pengeringan yang tepat hingga produk mencapai kadar air yang ditentukan. Jika suhu lingkungan cukup panas maka waktu pengeringan hingga mencapai kadar air yang diinginkan akan lebih cepat tercapai, sebaliknya jika suhu rendah maka waktu pengeringan akan lebih lama.

### **Prinsip Kerja Solar Drying**

Secara umum prinsip kerja solar drying seperti efek rumah kaca. Radiasi panas dari sinar matahari akan ditangkap oleh kolektor panas. Kemudian udara masuk ke kolektor melalui saluran masuk udara. Kemudian udara akan memanaskan melalui mekanisme konveksi. Suhu udara pengering sangat dipengaruhi panas matahari. Udara panas kemudian dilewatkan ke ruang pengering tempat bahan dikeringkan. Setelah melewatkan panas ke bahan, udara dilepaskan ke atmosfer melalui saluran keluar udara.

Pengering surya biasanya diklasifikasikan berdasarkan tiga parameter: (i) Pergerakan udara, (ii) Jenis ruang pengering, dan (iii) Perpindahan panas. Dalam hal pergerakan udara, terdapat sistem pasif dengan konveksi alami dan sistem aktif dengan konveksi paksa menggunakan kipas. Berdasarkan jenis ruang pengering, Solar dryer memiliki dua tipe, diantaranya adalah tipe cabinet dan tipe rumah kaca (greenhouse). Sedangkan berdasarkan perpindahan panasnya, terdapat empat jenis perpindahan panas, yaitu:

- (1) Langsung, biasanya dengan konstruksi berbiaya rendah, terdiri dari ruang pengering yang ditutupi oleh kaca atau plastik transparan. Kerugian utama adalah banyaknya ruang yang dibutuhkan untuk pemasangannya dan kualitas produk yang diragukan karena paparan langsung ke matahari
- (2) Tidak langsung, dengan panel surya dan ruang pengering. Udara dihangatkan di panel surya dan dilakukan di dalam ruang pengering, mentransfer panas ke bahan, dan menguapkan kelembaban. Mereka lebih efektif daripada tipe langsung; laju pengeringan lebih tinggi, kecepatan dan suhu udara dapat dikontrol, dan kualitas produk terjaga. Namun demikian, sistem ini bisa lebih mahal.
- (3) Pengering surya campuran, yang menggunakan energi matahari langsung dan tidak langsung. Kolektor terpisah memanaskan udara sebelum memasuki ruang pengering, dan matahari membantu memanaskan produk. Sistem ini bisa lebih kuat tetapi lebih kompleks dan mahal.

- (4) Hybrid solar dryer, menggabungkan proses pemanasan lain (bahan bakar fosil, biomassa atau listrik) dengan pemanasan matahari. Keuntungan utamanya adalah dapat beroperasi tanpa energi matahari, atau pada malam hari. Ini mengurangi waktu pengeringan dibandingkan dengan transfer lain yang dijelaskan. Namun, ini memiliki jejak lingkungan yang meningkat dan biaya operasional.

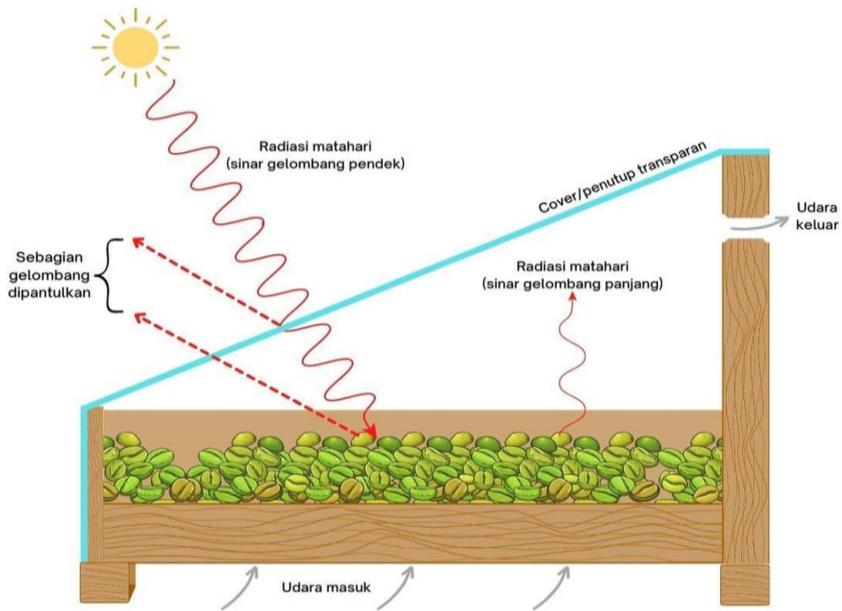
Buku ini tidak akan membahas detail semua jenis peralatan berbasis *Solar Drying*. Berikut ini beberapa penjelasan prinsip kerja dan desain peralatan *Solar Dyer* yang cukup umum digunakan:

### 1. ***Direct Solar Dryer – Tipe Kabinet***

Prinsip kerja metode ***Direct Solar Drying*** yang dikenal juga dengan sebutan *solar cabinet dryer* (pengeringan dalam kabinet/wadah bertutup tembus pandang), dapat dilihat pada Gambar 1-6. Pada pengeringan dengan metode ini, kelembaban diperoleh dari udara yang masuk melalui celah-celah bagian bawah dan keluar melalui lubang atas kabinet/wadah seperti yang terlihat pada gambar. Dalam kabinet/wadah pengering, keseluruhan panas radiasi matahari akan menerpa penutup bening, sehingga sebagian akan ada yang terpantulkan kembali ke udara bebas dan sebagian lainnya akan tertransmisi atau masuk ke dalam kabinet/wadah tersebut.

Radiasi yang berhasil masuk ke dalam kabinet juga akan dipantulkan sebagian dari permukaan bahan pangan yang dikeringkan dan sebagian lainnya akan diserap bahan pangan, sinar radiasi gelombang panjang yang tidak diperlukan akan terjebak dalam wadah karena adanya penutup. Dari keseluruhan kondisi mengakibatkan suhu pada sisi bahan pangan yang

menghadap ke atas akan lebih tinggi, penutup bening yang bekerja sebagai perangkat untuk mengurangi hilangnya panas konvektif secara bebas memiliki pengaruh penting dalam meningkatkan suhu pada bahan pangan dan kondisi wadah.

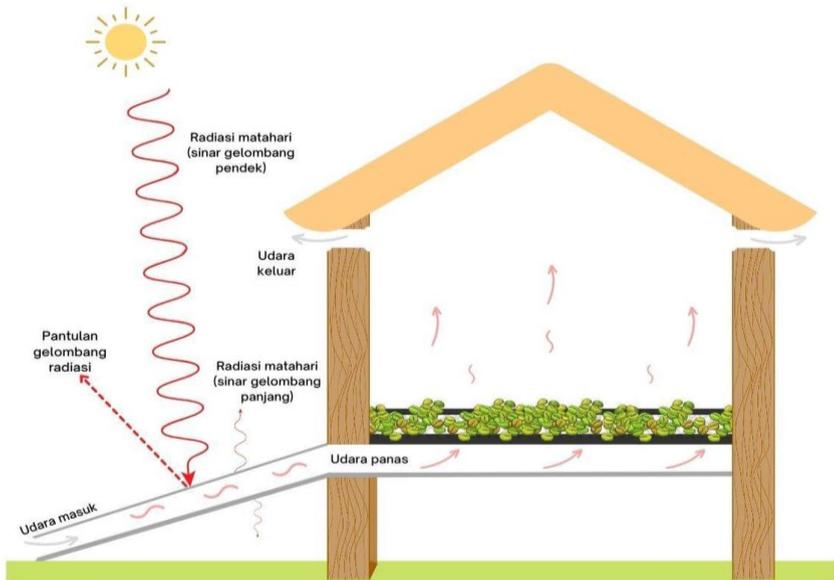


Gambar 1-6. Prinsip Kerja dan Desain **Direct Solar Drying – Tipe Kabinet** (Sumber: Gambar ulang dari Sharma, 2009)

## 2. **Indirect Solar Dryer – Tipe Kabinet**

Prinsip kerja proses pengeringan tipe **Indirect Solar Drying** (pengeringan dengan matahari secara tidak langsung) dapat dilihat pada Gambar 1-7. Pada metode ini bahan pangan disimpan di atas sebuah nampan/rak yang disimpan dalam kabinet tidak tembus cahaya dan sebuah unit terpisah yang disebut kolektor surya berfungsi untuk memanaskan udara pengering yang mengalir ke dalam kabinet. Selanjutnya, udara panas

kontak dengan bahan pangan segar untuk penguapan kadar air, melalui mekanisme perpindahan panas konvektif antara udara panas dan bahan pangan. Proses Pengeringan terjadi berdasarkan perbedaan konsentrasi uap air antara udara pengering dan udara di sekitar permukaan tanaman.

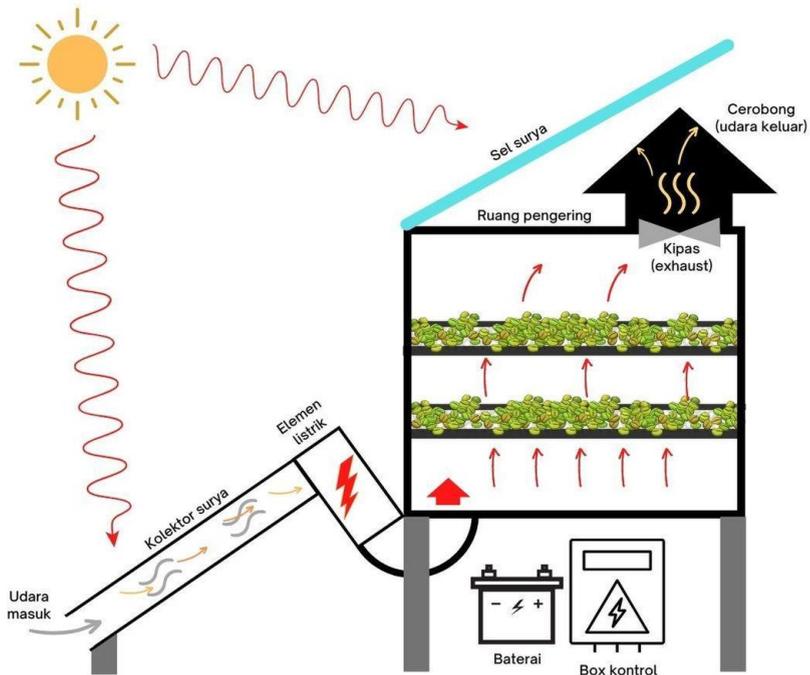


Gambar 1-7. Prinsip Kerja dan Desain **Indirect Solar Drying**  
(Sumber: Gambar ulang dari Sharma, 2009)

### 3. **Hybrid Solar Dryer– Tipe Kabinet**

*Hybrid Solar drying* adalah metode pengeringan yang mengkombinasikan teknik metode pengeringan dengan energi matahari secara langsung dan tidak langsung (*direct and indirect types of solar energy dryers*). Kombinasi proses kedua metode tersebut dilakukan dengan panas matahari dipaparkan secara langsung ditambah dengan pengeringan dengan udara panas yang sudah dipanaskan melalui kolektor surya, sehingga panas yang dihasilkan akan merata dan hasil pengeringan akan lebih efektif dan

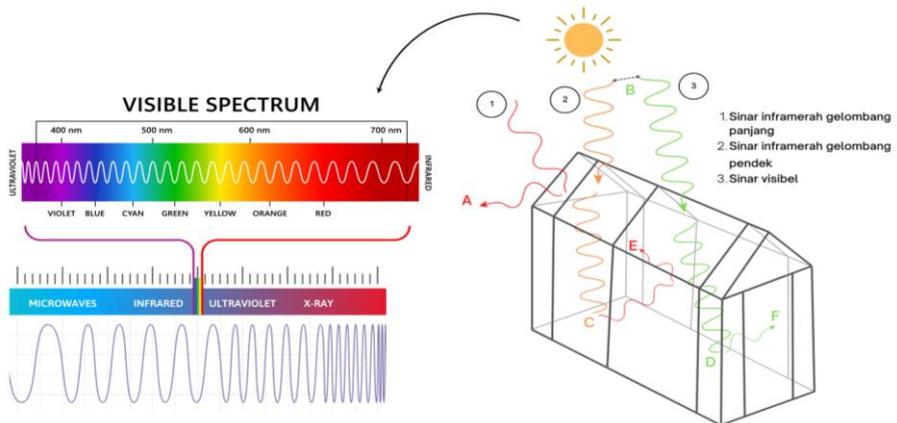
kualitas sesuai. Mekanisme pengeringan dengan *hybrid Solar drying* dapat dilihat pada Gambar 1-8.



Gambar 1-8. Prinsip Kerja dan Desain *Indirect Solar Drying*  
(Sumber: Gambar Ulang dari Parhizi et al, 2022)

#### 4. *GreenHouse Dryer*

Pada mulanya, definisi asli *greenhouse* atau rumah kaca adalah bangunan yang didesain untuk menanam buah atau sayuran. Hingga saat ini, istilah tersebut juga masih digunakan, meskipun maknanya menjadi lebih luas, termasuk ke dalam desain peralatan pengeringan pangan. *GreenHouse Dryer* didesain memiliki struktur tertutup, dimana langit-langit dan dinding dibuat dari bahan yang transparan.



Gambar 1-9. Mekanisme Pembentukan Panas Dalam Pengering Green House  
(Sumber: Gambar Ulang dari Mulato, 2020)

Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1-9, sinar matahari yang akan menembus *GreenHouse Dryer* merupakan campuran dari berbagai radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 100 nm hingga 1 nm. Adapun radiasi cahaya matahari yang sampai ke permukaan bumi terdiri dari: 48% radiasi infra merah, 44% radiasi tampak, 7% radiasi ultraviolet [UV], dan sisanya merupakan radiasi dengan panjang gelombang lebih dari 1 mm. Secara spesifik, cahaya inframerah dibagi lagi menjadi dua unsur, yaitu 37% gelombang pendek inframerah dan 11% sisanya merupakan gelombang panjang. Diantara gelombang infra merah dan UV terdapat panjang gelombang tampak (visible spectrum) dengan Panjang gelombang antara 400 hingga 700 nm. Semua jenis cahaya berperan dalam proses konversi energi rumah kaca dengan prinsip muatan energi radiasi gelombang pendek mengandung muatan energi yang lebih tinggi.

Mekanisme terbentuknya panas dalam *GreenHouse Drying* dapat dilihat pada Gambar 1-9. Akumulasi energi di dalam rumah kaca dihasilkan dari tumbukan antara dua material yang berbeda, yaitu: radiasi matahari dinamis berkecepatan tinggi dan materi padat [rumah kaca dan benda-benda di dalamnya]. Panjang gelombang cahaya inframerah (lihat gelombang nomor 1) berkisar  $1,5 \mu\text{-}1 \text{ mm}$ , lebih Panjang dibandingkan dengan jenis gelombang yang lain. Muatan energi cahaya tersebut tidak cukup kuat untuk menembus atap dan dinding rumah kaca. Sehingga, cahaya tersebut dipantulkan kembali dengan sempurna dan tidak berkontribusi pada pembentukan panas di rumah kaca (lihat huruf A).

Sedangkan Cahaya inframerah (lihat nomor 2) memiliki gelombang pendek [ $\lambda \geq 700 \text{ nm}$ ] yang memiliki muatan energi cukup tinggi. Dapat menembus lapisan atap dan masuk ke dalam ruangan hingga menabrak lantai dan dinding ruangan (lihat huruf B). Akibat tumbukan tersebut, cahaya mengalami penurunan kecepatan dan penyimpangan arah. Setelah mengenai lantai rumah kaca (lihat huruf C), cahaya yang dipantulkan mulai memudar dan tersebar di setiap sudut rumah kaca. Energi sisa yang terkandung terlalu lemah untuk menembus pelindung (lihat huruf E). Tabrakan yang berulang akan mengurangi muatan energi dan akan mengubahnya menjadi panas. Selain itu, cahaya tampak dengan panjang gelombang  $400 - 700 \text{ nm}$  (lihat nomor 3) juga menembus greenhouse melalui atap dan dinding rumah kaca tanpa mengalami kehilangan energi yang berarti. Meskipun cahaya tampak mengenai tanah (lihat huruf D), namun cahaya yang dipantulkan masih cukup kuat dan mudah menembus dinding hingga keluar kembali (lihat huruf F).

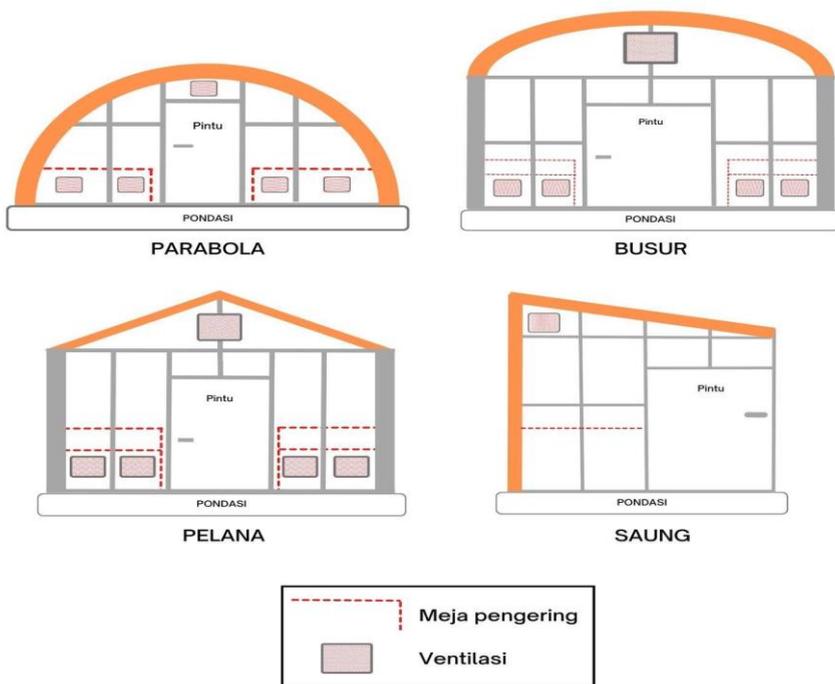
Pancaran berbagai gelombang tersebut yang terus menerus akan terakumulasi menghasilkan panas dan meningkatkan kenaikan suhu dalam greenhouse. Dengan demikian, suhu dan kelembaban relatif dalam ruangan akan berubah secara dinamis tergantung pada waktu dan sudut sinar matahari mengenai rumah kaca. Suhu udara di dalam GreenHouse meningkat secara bertahap berbanding lurus dengan sudut sinar matahari. Pada saat tengah hari, sekitar jam 12, matahari berada paling tinggi, dan berada pada jarak paling dekat dengan bumi. Sudut sinar yang sesuai yaitu  $90^\circ$ . Suhu dalam *GreenHouse* bisa mencapai titik tertinggi  $45^\circ\text{C}$  dan nilai RH minimum sekitar 40%.

Untuk mendesain GreenHouse Dryer harus memperhatikan beberapa komponen, diantaranya adalah rangka, langit-langit dan dinding, ventilasi, meja pengering dan pondasi. Berdasarkan bentuk atapnya, bangunan rumah kaca diklasifikasikan menjadi 4 jenis (lihat Gambar 1-10), yaitu parabola, busur, pelana dan saung. Untuk model parabola, kisi-kisi atap dan dinding membentuk satu kesatuan yang berkesinambungan. Sedangkan desain rumah kaca lainnya terdiri dari dinding vertikal dan atap. Keduanya tidak terhubung terus menerus. Sedangkan model Saung memiliki konstruksi yang mirip dengan setengah pelana.

Banyaknya radiasi matahari yang bisa diserap dalam GreenHouse berbanding lurus dengan luas atap dan dinding serta sudut jatuhnya sinar matahari ke permukaan. Semakin besar luasan atap dan dinding maka semakin besar pula potensi radiasi matahari yang masuk dalam GreenHouse. Semakin kecil sudut balok, semakin jauh pula jarak ke tanah. Dengan sudut radiasi hanya  $30^\circ$ , rumah kaca hanya menerima setengah dari radiasi matahari. Desain parabola, busur, dan saung bisa menyerap panas dari sinar

matahari secara maksimum pada pukul 12:00. Ketiganya memiliki luas atap yang cukup besar yang menghadap matahari secara langsung. Untuk mencapai fiksasi maksimum, sudut kemiringan ujung harus diatur dalam kisaran 25-30°. Meski kurang maksimal, atap pelana mendistribusikan sinar matahari secara merata sepanjang hari.

Orientasi bangunan *GreenHouse* sebaiknya ke arah utara dan selatan atau tegak lurus terhadap jalur semu matahari. Permukaan atap akan lebih banyak terkena sinar matahari dan menerima sinar matahari secara merata dari pagi hingga sore hari. Posisi konstruksi *GreenHouse* juga harus bebas dari bayang-bayang pepohonan dan bangunan tinggi maupun tempat tinggal di sekitarnya.



Gambar 1-10. Berbagai Bentuk Bangunan Desain Green House Untuk Pengeringan (Sumber: Gambar Ulang dari Mulato, 2020)

Bahan plastik memiliki sifat elektrostatis yang menarik partikel debu dari permukaan atap. Setelah penggunaan waktu tertentu, lapisan debu perlahan menebal dan dapat mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam GreenHouse. Sebagai akibatnya, efisiensi rumah kaca menurun drastis. Dalam hal ini, lapisan debu lebih akan cenderung menumpuk di atap dengan desain parabola dan busur karena bentuknya yang relatif datar.

Bahan Rangka Green House dapat dibuat dari bambu atau kayu. Bahan bambu memiliki karakter fleksibel dan mudah dibentuk menjadi atap dan lengkungan parabola. Sedangkan bahan kayu dengan karakter kaku sesuai untuk rangka atap pelana dan saung. Sebagai catatan, kelemahan bambu dan kayu adalah mudah terserang jamur, serangga dan rayap. Kondisi tersebut berpotensi mengkontaminasi pangan yang dikeringkan dalam GreenHouse. Sebagai alternatif, bisa menggunakan baja ringan, terutama untuk desain atap pelana dan rumah.

Selain itu, pemasangan struktur rumah kaca juga harus ditopang di atas pondasi dengan tinggi sekitar 20 cm dari permukaan tanah. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar bangunan terlindung dari kelembaban dan serangan serangga. Untuk lantai, bisa dibuat dengan material keramik, ubin hitam atau lantai semen yang dilapisi cat epoksi hitam. Pemilihan warna hitam dimaksudkan untuk memaksimalkan penyerapan radiasi matahari.

Penggunaan atap dan dinding dengan bahan transparan merupakan bagian dari bangunan GreenHouse yang berhubungan langsung dengan faktor iklim lingkungan sekitarnya. Sebagai pengumpul radiasi matahari, bahan penutup sebaiknya memiliki efisiensi transmisi sinar matahari yang tinggi (>80%), tidak cepat memudar seiring waktu penggunaan, dan tahan terhadap angin dan hujan. Bahan yang bisa digunakan untuk atap dan

dinding adalah plastik dan serat diperkuat dengan senyawa kimia anti UV 6-14%. Semakin banyak senyawa pelindung UV, semakin kuat plastik/seratnya, namun demikian warnanya akan semakin buram dan efisiensi transmisi radiasi matahari dan efisiensi pengeringan juga menurun.

Dalam mendesain GreenHouse juga harus mempertimbangkan ventilasi dalam ruangan. Banyaknya uap air yang dihasilkan selama pengeringan berbanding lurus dengan kadar air bahan dan kecepatan pengeringan. Akumulasi uap air bisa menyebabkan udara dalam GreenHouse menjadi jenuh dengan uap air. Keadaan tersebut bisa membuat air mudah mengembun dan membasahi kembali bahan yang telah kering. Dengan adanya ventilasi yang memungkinkan udara dalam GreenHouse keluar kelingkungan maka kondensasi uap air dapat dicegah. Posisi pemasangan bukaan ventilasi sebaiknya mengikuti arah angin.

## **BEBERAPA APLIKASI**

Energi matahari merupakan salah satu bentuk energi berkelanjutan yang memiliki potensi besar untuk berbagai macam aplikasi karena berlimpah dan dapat diakses dengan mudah, terutama untuk negara-negara yang terletak di wilayah tropis. Pengeringan juga merupakan metode pengawetan yang tepat untuk mengawetkan makanan saat panen melimpah, khususnya bagi masyarakat yang tinggal di lokasi terpencil, di mana listrik untuk penyimpanan dingin mungkin tidak dapat diandalkan atau tidak ada sama sekali.

Teknik pengeringan juga merupakan cara yang baik untuk menyimpan makanan dengan kapasitas ruang penyimpanan yang kecil. Umumnya, produk yang dikeringkan memiliki berat hanya setengah sampai satu per dua belas berat dari kondisi segarnya, sehingga makanan kering dapat disimpan di lemari kecil. Pada saat ini masyarakat juga lebih suka untuk membawa makanan yang dikeringkan karena lebih praktis secara massa dan volum.

Pengeringan dengan menggunakan solar dryer dapat diaplikasikan untuk berbagai produk pertanian maupun perikanan dengan tujuan untuk menurunkan kadar air dan water activity bahan pada level tertentu, sehingga bakteri penyebab pembusukan tidak dapat bertahan dan reaksi enzimatik penyebab penurunan mutu dapat dicegah sehingga produk lebih stabil dan memiliki umur simpan lebih lama.

Pangan segar maupun olahan yang akan dikeringkan umumnya memiliki karakteristik dengan kandungan air cukup tinggi dan mudah mengalami penurunan mutu hingga pembusukan. Terdapat 2 kategori pangan berdasarkan jenis kandungan kadar air awalnya, yaitu:

1. Kadar air tinggi: Produk pertanian memiliki kadar air awal lebih dari 80%
2. Kadar air medium: Produk pertanian memiliki kadar air antara 80-30%

Aplikasi metode pengeringan dengan solar dryer terus berkembang di beberapa negara untuk pengeringan berbagai macam jenis pangan, seperti: berbagai jenis buah dan sayur, padi, jagung, kacang-kacangan, rempah dan herbal, kopi, cocoa, rumput laut, ikan, cumi, daging, dll. Buku ini hanya akan memberikan contoh aplikasi metode pengeringan sun dryer dan solar dryer untuk beberapa komoditas saja, diantaranya:

## 1. Sun Drying Pada Pengerinan Buah Anggur

Sudah sejak lama masyarakat memanfaatkan sinar matahari untuk mengeringkan buah segar menjadi raisin. Raisin dikeringkan di atas tikar atau nampan di suatu lapangan, area terbuka. Metode tersebut masih diaplikasikan hingga saat ini. Sebagai contoh pada Gambar 1-11 adalah pada produksi anggur kering yang dilakukan Perusahaan Sun-Maid di California.



Gambar 1-11. Aplikasi Pengerinan Anggur Menggunakan Sun Drying di California. (Sumber: Palecek et al, 2011)

Praktik pengeringan dimulai dengan peletakan tandan anggur di atas terpal dan menyebarkannya secara merata hingga menutupi seluruh terpal. Terpal ditempatkan berdampingan menghadap ke selatan untuk memaksimalkan waktu pengeringan dan paparan sinar matahari. Lembah San Joaquin selatan adalah area yang ideal untuk mengeringkan anggur menjadi kering dan berwarna coklat tua karena musim panasnya yang panjang, panas, dan kering, yang berlanjut hingga awal musim gugur.

Prose pengeringan anggur segar menjadi kismis memakan waktu sekitar 21 hari. Saat anggur hampir kering, terpal digulung menjadi gulungan. Gulungan ini berfungsi seperti oven surya, menyelesaikan proses pengeringan dan memungkinkan terjadinya penyeragaman kadar air produk.

Pengeringan selesai saat anggur kering mencapai kadar air 10 -14 %. Energi matahari mengeringkan sekitar 2,5 miliar pon anggur segar, yang menghemat setara dengan 600 triliun British thermal unit (BTU) gas alam setiap tahun.

## 2. Solar Dryer Dome Untuk Pengeringan Tomat dan Pisang

Solar Dryer Dome hadir untuk menjawab tantangan petani kecil dalam praktik pengeringan tradisional. Beberapa dari mereka melakukan proses pengeringan pangan di pinggir jalan. Sebagai akibatnya, terjadi kontaminasi berupa debu, air hujan maupun cahaya ultraviolet. Penanganan pasca panen yang kurang tepat, termasuk proses pengeringan yang kurang efektif membuat sekitar 30 – 50% hasil panen mereka kurang bermutu dan tidak bisa masuk pasar.

Hadirnya Solar Dryer Dome yang ditemukan oleh Prof. Dr. Serm Janjai dari Universitas Silpakorn di Thailand, mampu meningkatkan hasil panen para petani sampai dengan 45%. Peningkatan tidak hanya terjadi dari sisi kuantitas, namun juga kualitas. Dengan demikian, diharapkan hal tersebut mampu meningkatkan taraf hidup petani secara signifikan. Lebih dari itu, potensi food loss pada tahap pengolahan pasca panen juga dapat diminimalisir.



Gambar 1-12. Solar Dryer Dome Untuk Pengeringan Tomat di Thailand dan Pengeringan Pisang di Indonesia (Sumber: [impack-pratama.com](http://impack-pratama.com))

Desain kubah (Dome) berfungsi sebagaimana rumah kaca untuk perlindungan. Rumah kaca tersebut dibangun dengan material berupa lembar polycarbonate. Sistem tertutup dalam lembar polycarbonate berfungsi untuk melindungi pangan yang dikeringkan dari pancaran sinar UV secara langsung, yang berpotensi merusak bahan organik pada produk, seperti warna, komponen kimia, aroma, dll. Manfaat lain dari sistem tertutup dalam kubah adalah petani tidak perlu terlalu khawatir jika terjadi gerimis atau hujan. Produk pangan akan tetap terlindungi dan humiditas dalam ruang pengering cenderung lebih terkendali.

Sistem tertutup dalam rumah kaca juga memungkinkan suhu di dalam kubah dapat meningkat hingga 100% dibandingkan suhu di luar. Untuk membantu sirkulasi udara dan mendorong percepatan keluarnya uap air dari pangan, maka desain kubah biasanya dilengkapi dengan kipas kecil. Selain itu, peningkatan suhu mempersingkat proses pengeringan secara signifikan. Sebagai contoh, proses pengeringan buah pisang (Gambar 1-12) dapat selesai dalam waktu 3 – 4 hari. Waktu tersebut jauh lebih singkat dibandingkan jika dikeringkan dengan metode pengeringan konvensional. Untuk mencapai target kadar air akhir yang sama, proses pengeringan membutuhkan waktu 7 hari.

### **3. Sun Dryer dan Solar Dom Dryer Untuk Pengeringan Kopi**

Penggunaan Solar Dom Dryer banyak digunakan dalam praktik pengeringan buah kopi pada proses pengolahan secara natural maupun pengeringan biji kopi pada proses pengolahan semi washed dan full washed umumnya menggunakan Sun Dryer dan Solar Dyer (lihat Gambar 1-13). Di Indonesia dan beberapa negara berkembang lainnya, yang menjadi produsen kopi, sebagian besar petani pengolah mengeringkan buah ceri kopi secara

langsung dibawah sinar matahari. Mereka menghamparkan buah/ceri kopi di atas terpal hitam secara merata. Selama proses penjemuran petani pengolah akan membolak-balik buah kopi maupun biji kopi secara berkala agar proses pengeringan merata. Proses pembalikan juga dilakukan untuk menghindari ketidakmerataan panas dan potensi pembusukan pada ceri kopi yang belum kering.

Selain diatas tikar, beberapa petani pengolah juga menjemur buah atau biji kopi mereka di atas teras bata atau rak khusus yang disebut para-para. Berbeda dengan penjemuran di atas tikar yang terhampar langsung diatas tanah, teknik ini memungkinkan adanya *airflow* (pengalir udara) pada bagian bawah rak pengeringan. Adapun kendala yang dihadapi dengan menerapkan metode sun drying adalah fluktuasi intensitas panas matahari dan juga tidak stabilnya laju aliran udara pengering. Hal tersebut membuat suhu pengeringan sulit dikendalikan dan berpotensi menyebabkan ketidakseragaman mutu akhir produk yang dihasilkan.

Sebagaimana diketahui, umumnya kopi di budidaya di daerah dengan ketinggian diatas 700 mdpl. Terlebih untuk kopi jenis arabika, proses budidaya dan pengolahan mungkin saja dilakukan di daerah dengan ketinggian diatas 1000 mdpl. Pada kondisi geografis tersebut, proses pengeringan buah dan biji kopi menjadi tantangan tersendiri bagi para petani maupun pengolah kopi. Daerah pegunungan yang menjadi tempat budidaya dan pengolahan kopi juga sering mendapat hujan orografis akibat kenaikan udara dengan kadar air tinggi.

Jika suhu dan kelembaban udara saat pengeringan tidak dapat dikendalikan dengan baik maka berpotensi menyebabkan terjadinya cacat rasa. Dimana buah kopi bisa saja mengalami *over fermented* yang akan

menghasilkan *winey flavors*. Disisi lain, pengeringan pada kondisi intensitas sinar matahari yang terbatas juga bisa menyebabkan perubahan *fermented flavor* menjadi *vinegary* dan *sour flavors*. Sebagai solusinya, petani pengolah melakukan trik sederhana. Sebelum malam tiba, mereka mengumpulkan buah atau biji kopi yang dikeringkan di bagian tengah terpal dan kemudian ditutup agar terlindung dari embun maupun hujan. Namun demikian, cara tersebut membutuhkan tenaga kerja yang cukup banyak dan intensif.

Sebagai alternatif, sebagian petani dan pengolah kopi yang memiliki cukup modal mereka bisa membangun *greenhouse*. Pengeringan dalam *greenhouse* bisa dilakukan baik di atas terpal maupun di atas para-para. Pengeringan dalam *greenhouse* memungkinkan terjadinya pengendalian suhu yang lebih baik, dimana panas yang diterima oleh ceri maupun biji kopi tidak terlalu besar karena sebagiannya dipantulkan oleh lapisan *greenhouse*. Sebagai hasilnya, panas yang mengenai bahan pangan akan berkurang dan penguapan senyawa volatil juga dapat diminimalisir. Sebagai tambahan, sebagian pengolah juga memasang kipas di dalam *greenhouse* untuk pengendalian laju alir udara dalam ruang pengering. Dengan adanya pengendalian suhu, laju alir dan kelembaban udara ruang pengeringan maka keseragaman mutu produk bisa tercapai.



Gambar 1-13. Aplikasi Sun Drying dan Solar Dom Dryer Untuk Pengeringan Kopi  
(Sumber: Dokumentasi penulis)

#### 4. Solar Dom Dryer Untuk Pengeringan Oregano

Aplikasi pengering solar juga bisa untuk pengeringan jenis *herbs* dan *spices*. Sebagai contoh, masyarakat Peru menggunakan Solar Dom Dryer untuk mengeringkan oregano, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1-14. Pengeringan dalam Solar Dom Dryer memungkinkan pengeringan yang seragam di semua musim sepanjang tahun. Model alat pengering bisa disesuaikan dengan kebutuhan zona dan produk, seperti derajat hidrasi, tingkat penyinaran matahari, posisi, dan aliran udara, selain penggunaan dan pemeliharaan yang baik.

Untuk mendapatkan hasil pengeringan yang optimal, dimana oregano tidak kehilangan ciri khas warna hijaunya maka alat pengering dapat di desain pada suhu tertentu dengan derajat ventilasi tertentu. Desain rak pengering yang tidak bersentuhan dengan tanah juga menghindarkan produk tetap bebas dari kotoran dan kontaminasi. Pengaturan desain tersebut dimaksudkan agar oregano tidak terlalu kering, bermutu tinggi dan memiliki harga yang kompetitif di pasar.

Berdasarkan hasil evaluasi didapatkan bahwa praktik pengeringan tradisional menyebabkan penurunan sekitar 15%, sedangkan dengan proses saat ini penurunan bisa diturunkan sebesar 10%. Dengan demikian losses di tingkat pengolah bisa ditekan menjadi 5%. Penurunan tersebut berdampak positif pada kenaikan pendapatan petani maupun pengolah.



Gambar 1-14. Solar Dryer Untuk Pengeringan Oregano  
(Sumber: C. Bertello, GIZ EnDev Peru dari energypedia.info)

## 5. Solar Bubble Dryer Pengeringan Gabah

Gabah merupakan salah satu komoditas hasil pertanian yang paling banyak memanfaatkan matahari dalam pengeringannya. Selain menggunakan Solar dryer, saat ini beberapa petani juga sudah mulai menggunakan Solar Bubble Dryer (lihat Gambar 1-15). Praktikum pengeringan Solar Buble Dryer dapat dilakukan di pematang sawah, berdekatan dengan aktivitas pemanenan. Adapun prinsip kerja alat pengering tersebut pada dasarnya mirip dengan metode pengeringan sun drying, hanya saja pengeringan dilakukan di dalam plastik polietilen yang transparan panjang yang digelembungkan. Udara dihasilkan dari Gerakan mekanis kipas yang dihasilkan dengan memanfaatkan energi radiasi matahari. Aliran udara di dalam alat pengering akan memindahkan kadar air dalam gabah melalui mekanisme konveksi.

Secara umum, konfigurasi peralatan Solar Buble Dryer terdiri dari 7 komponen yaitu: (1) plastik yang berfungsi sebagai tutup atau pelindung bahan yang dikeringkan dengan material polyetilen, (2) plastik ulin yang berfungsi sebagai alas bahan yang akan dikeringkan, (3) kipas untuk mengalirkan udara pengering, (4) panel surya untuk menyerap panas

matahari, (5) aki, (6) resleting Panjang untuk membuka dan menutup plastik penutup dan (7) roller yang digunakan untuk membalik gabah.



Gambar 1-15. Solar Bubble Dryer Untuk Pengeringan Gabah  
(Sumber: knowledgebank.irri.org)

### KARAKTERISTIK PRODUK

Produk akhir yang dikeringkan dengan sinar matahari rata-rata memiliki kadar air dibawah 20% (tergantung dari jenis produk yang dikeringkan). Selama proses pengeringan, tidak hanya terjadi perpindahan sejumlah massa air dari bahan ke lingkungan, namun perubahan sifat fisik, kimia dan sensori produk pangan yang dikeringkan juga pasti terjadi. Adapun atribut mutu produk kering yang mungkin mengalami perubahan seperti:

1. Sifat fisik: warna, tekstur, pengerutan (*shrinkage*), porositas, rehidrasi, retakan atau *breakage*
2. Sifat kimia: water activity, senyawa pembentuk flavor, odour,
3. Kandungan Zat Gizi: Kalori, vitamin, mineral, serat, lipid, protein, karbohidrat, senyawa bioaktif,
4. Sifat Biologi: Mold, yeast, E. coli, Salmonella, Mycotoxins, Aflatoxins
5. Sifat Sensori: penampakan, aroma, flavor, taste, after taste, mouthfeel, tektur, warna

Secara umum, terdapat beberapa jenis perubahan yang dikehendaki dan tidak dikehendaki selama proses pengeringan. Perubahan yang

dikehendaki diantaranya: berkurangnya kadar air sesuai target pengeringan, penurunan aktivitas mikroorganisme, enzim dan potensi reaksi non enzimatis; stabilitas pangan meningkat, umur simpan lebih lama dan pengurangan zat gizi, sifat fisik dan atribut sensori sesedikit mungkin. Sedangkan perubahan yang tidak dikehendaki diantaranya: terjadinya pengerutan, pengerasan tekstur, terjadi retakan, penurunan nilai kelarutan, berkurangnya kemampuan rehidrasi, perubahan warna, rasa dan aroma yang tidak dikehendaki, berkurangnya kandungan zat gizi, muncul reaksi yang tidak diinginkan, rusaknya senyawa bioaktif dan berkurangnya senyawa volatile.

Perubahan komposisi zat gizi dalam bahan pangan yang dikeringkan sangat sulit dihindari. Terutama pangan yang memiliki komponen yang sensitif terhadap panas. Sebagai contoh, pengeringan wortel dengan menggunakan solar cabinet dryer menyebabkan penurunan kandungan  $\beta$ -carotene akibat proses pengeringan yang terlalu lama dan paparan cahaya. Selain itu, warna hijau sebagian besar sayuran akan berubah menjadi coklat-zaitun akibat konversi klorofil menjadi feofitin, dimana perubahan tersebut pada umumnya tidak diinginkan oleh konsumen.

Penurunan mutu produk kering bisa diminimalisir dengan pengaturan temperatur dan waktu pengeringan yang tepat. Khusus untuk buah dan sayur yang memiliki kandungan vitamin dan mineral yang tinggi, maka perlu diberi perlakuan pendahuluan sebelum dikeringkan dengan menggunakan solar dryer, seperti:

1. Sortasi, pemilihan selektif (produk yang akan dikeringkan sebaiknya dalam kondisi yang segar dan belum mengalami kebusukan)

2. Pembersihan dari debu, tanah, maupun benda asing.

Pembersihan dimaksudkan untuk meminimalisir terjadinya kontaminasi selama proses pengeringan.

3. Penanganan khusus (pengupasan, pemotongan, dll)

Pengupasan dilakukan untuk bahan pangan yang memiliki kulit yang tidak bisa dikonsumsi. Sedangkan pemotongan hingga ukuran yang lebih kecil dimaksudkan untuk memperluas permukaan bahan dan mempercepat proses pengeringan.

4. Penanganan tambahan (blansing, penambahan gula, larutan asam, dll)

Blansing sebelum pengeringan dimaksudkan untuk menginaktivasi enzim pada bahan pangan. Dengan inaktifnya enzim selama proses pengeringan, maka perubahan akibat reaksi enzimatik bisa diminimalisir. Perlakuan pra-pengeringan seperti penambahan gula diperlukan untuk pengeringan sayuran untuk menghindari kerusakan struktur jaringan. Pekerjaan sebelumnya telah menunjukkan bahwa disakarida yang tidak mereduksi seperti sukrosa dan trehalosa dapat melindungi sistem biologis dari efek buruk pembekuan dan pengeringan. Apalagi trehalose dikenal memiliki banyak keunggulan. Misalnya, kemanisan larutan trehalosa 10% adalah 45% seperti larutan sukrosa 10%. Trehalosa adalah gula yang tidak mereduksi dan karena itu tidak bereaksi dengan asam amino atau protein yang menyebabkan Maillard browning. Pretreatment dengan larutan trehalosa diklaim sangat efektif untuk menghasilkan keripik sayuran kering berkualitas tinggi. Mencelupkan atau merendam produk (terutama sayuran) dalam asam organik seperti asam sitrat, asam laktat atau asam asetat

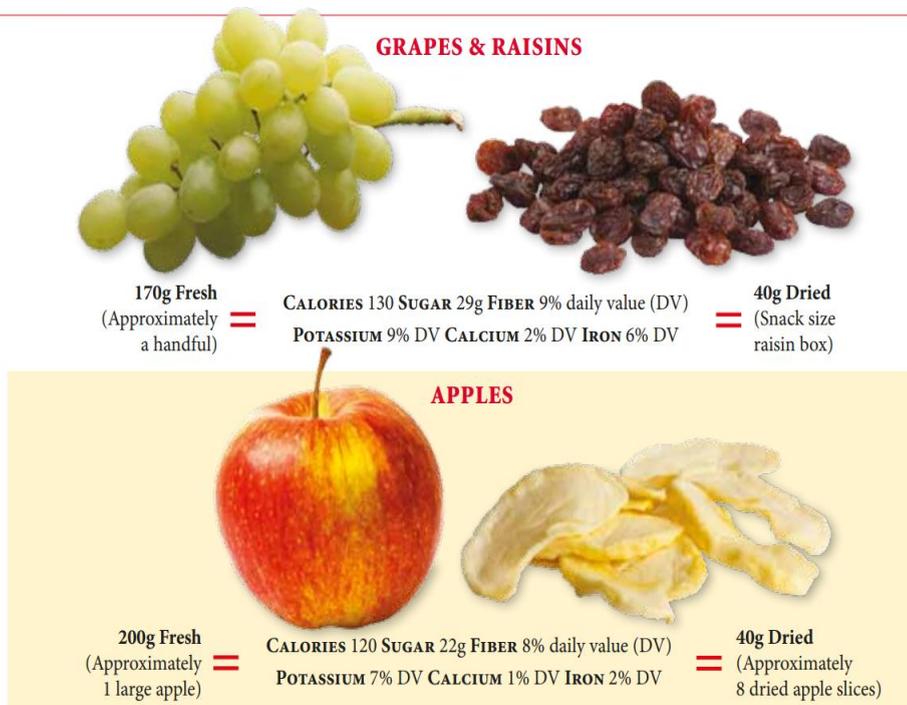
merupakan alternatif blansing karena metode pretreatment ini dapat membantu mengurangi jumlah flora normal dan organisme patogen. Beberapa asam organik seperti asam asetat diketahui mengurangi aktivitas enzim yang menyebabkan pencoklatan.

Salah satu tantangan dalam konsumsi pangan kering adalah ketika produk tersebut harus dibandingkan dengan kondisi segarnya. Beberapa orang mungkin akan bertanya, apakah mengkonsumsi buah segar sama sehatnya dengan mengkonsumsi buah kering. Tentu saja keduanya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing. Namun demikian, yang perlu dipahami yaitu perbedaan utama antara buah kering dan segar adalah kandungan kalori dan gulanya. Karena buah-buahan kering mengalami penurunan kadar air, maka kandungan zat gizi, kalori, dan gulanya menjadi terkonsentrasi setelah dikeringkan. Saat kita mengkonsumsi segenggam buah kering, sebenarnya kita mengonsumsi lebih banyak kalori dibandingkan saat mengkonsumsi buah segar dalam jumlah yang sama. Jadi, kekhawatiran terbesar dengan buah-buahan kering (seperti makanan lainnya) adalah ukuran porsinya.

Tingginya konsentrasi gula dalam buah kering membuat Sebagian orang yang percaya bahwa buah kering memiliki indeks glikemik yang lebih tinggi. Indeks glikemik adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan efek makanan terhadap kadar gula darah. Semakin tinggi indeks glikemik yang dimiliki suatu makanan maka semakin besar efeknya pada lonjakan kadar gula darah. Makanan dengan indeks glikemik tinggi telah dikaitkan dengan perkembangan resistensi insulin dan diabetes. Namun demikian, kita tidak perlu terlalu khawatir, karena buah kering tradisional memiliki indeks

glikemik rendah hingga sedang dan memiliki respons glikemik yang sebanding dengan buah segar.

Selain kadar gula, buah-buahan kering khususnya dikenal sebagai sumber serat dan mineral yang dibutuhkan tubuh. Untuk menghindari konsumsi kalori dan gula berlebih pada produk pangan kering, ada baiknya mencari informasi proporsi dan ukuran porsi yang tepat, baik saat mengonsumsi buah segar maupun buah kering. Sebagai contoh, bisa dilihat pada Gambar 1-16.



Gambar 1-16. Nilai Kalori dan Potasium Buah Segar dan Kering (Sumber: Palecek dkk, 2011)

## KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Setiap teknologi proses pasti memiliki kelebihan dan kekurangan,

### **Kelebihan Sun Dryer:**

1. Membutuhkan peralatan yang sederhana
2. Hemat biaya dan energi,
3. Kapasitas pengeringan cukup besar,
4. Ramah lingkungan karena tidak ada emisi CO<sub>2</sub>

### **Kekurangan Sun Dryer:**

1. Waktu pengeringan cukup lama (2-20 hari, bergantung pada karakteristik bahan dan cuaca),
2. Membutuhkan lahan yang luas,
3. Kurang higienis (ada potensi kontaminasi debu dan mikroba),
4. Produk bisa mengalami penurunan mutu atau bahkan rusak karena hujan, angin, kelembaban udara dan debu;
5. Produk bisa mengalami kerusakan karena dekomposisi, serangan serangga dan jamur, dll.
6. Terdapat potensi losses/kehilangan hasil karena burung dan hewan;
7. Mutu produk sulit dikendalikan dan kurang seragam karena variable proses pengeringan (terutama suhu dan laju alir udara pengering) tidak bisa dikendalikan.
8. Padat karya

Tidak jauh berbeda dengan Sun Drying, teknologi Solar Dryer yang merupakan pengembangan Sun Drying juga memiliki kelebihan dan kekurangan, diantaranya:

**Kelebihan *Solar Dryer*:**

1. Biaya investasi alat relatif lebih murah dibanding pengering mekanis,
2. Tidak ada emisi CO<sub>2</sub>
3. Waktu pengeringan lebih cepat dibandingkan *sun drying*. Pengering makanan surya meningkatkan waktu pengeringan dengan dua cara. Pertama, lapisan kaca yang bening atau transparan di atas area pengumpulan memerangkap panas di dalam pengering, sehingga menaikkan suhu udara. Kedua, fleksibilitas memperbesar area pengumpulan matahari memungkinkan pengumpulan energi matahari yang lebih besar
4. Lebih efisien. Karena bahan makanan dapat dikeringkan lebih cepat, lebih sedikit yang akan hilang karena pembusukan segera setelah panen. Hal ini terutama berlaku untuk produk yang membutuhkan pengeringan segera seperti biji-bijian yang baru dipanen dengan kadar air yang tinggi.
5. Produk hasil pengeringan lebih higienis dibandingkan *sun drying*, Karena bahan makanan dikeringkan dalam lingkungan yang terkendali, mereka cenderung tidak terkontaminasi oleh hama, dan dapat disimpan dengan kemungkinan pertumbuhan jamur beracun yang lebih kecil.
6. Mutu produk secara umum lebih baik dibanding Sun Dryer. Mengeringkan makanan pada suhu optimal dan dalam waktu yang lebih

singkat memungkinkannya mempertahankan sebagian besar nilai gizinya seperti vitamin C

7. Tidak ada degradasi warna karena sinar UV, karena adanya lapisan antara pangan dan sumber sinar matahari. Dengan demikian warna dan mutu pangan lebih terjaga.

#### **Kekurangan Solar Dryer:**

1. Bergantung pada matahari, fluktuasi radiasi sinar matahari akan mempengaruhi suhu selama proses pengeringan yang pada akhirnya akan berpengaruh terhadap lama waktu pengeringan.
2. Biaya instalasi dan perawatan alat lebih mahal dibanding sun drying
3. Waktu pengeringan masih relatif lama dibanding pengering mekanis

Memahami kelebihan dan kekurangan suatu teknologi akan membantu menentukan jenis teknologi apa yang tepat untuk diterapkan. Karena produk pertanian memiliki konduktivitas termal yang rendah, panas dipindahkan secara perlahan ke interiornya; oleh karena itu, proses pengeringannya menghabiskan banyak energi. Memilih metode pengeringan yang sesuai dan mempersingkat waktu pengeringan tidak hanya mencapai penghematan ekonomi tetapi juga mengurangi perubahan produk yang tidak diinginkan, seperti tekstur, nilai gizi, rasa, warna, dan aroma. Karena sebagian besar proses pengeringan dilakukan pada suhu tinggi, karakteristik kualitas produk kering, seperti tekstur, nilai gizi, rasa, warna, dan aromanya akan terpengaruh. Untuk meminimalkan perubahan tersebut, metode dan kondisi pengeringan seperti suhu, waktu pengeringan, kecepatan udara, dan sebagainya harus dioptimalkan.

## REFERENSI

1. Aravindh, M.A., & Sreekumar, A. 2015. Solar Drying-Sustainable Food Processing.
2. Asiah, N., & Djaeni, M. 2021. Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan. AE Publishing: Malang.
3. Asiah, N., Epriyani, C., Kurnia, A., Ramadhan, K., Hidayat, S. G., & Apriyantono, A. 2022. Profil Kopi Arabika Kintamani Bali. AE Publishing: Malang.
4. Catorze, C., Tavares, A.P., Cardao, P., Castro, A., Silva, M.E., Ferreira, D.W., Lopes, S., & Bras, I. 2022. Study of a solar energy drying system— Energy savings and effect in dried food quality. *Energy Reports* 8 (2022) 392–398.
5. Coren, G. 2018. *The Story of Food: An Illustrated History of Everything We Eat*. DK. Penguin Random House.
6. Fernandes, L., Fernandes, J.R., & Tavares, P.B. Design of a Friendly Solar Food Dryer for Domestic Over-Production. *Solar* 2022, 2, 495–508.
7. Fodor, E. 2005. *The Solar Food Dryer*. New Society Publishers: Canada.
8. Green, M.G., & Schwarz, D. 2001. *Solar Drying Technology for Food Preservation*. GTZ-GATE.
9. Hii, C.L., Jangam, S. V., Ong, S.P., & Mujumdar, A.S. 2012. *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*.
10. Hii, C.L., Ong, S.P., Chiang, C.L., & Menon, A.S. A review of quality characteristics of solar dried food crop products. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 292 (2019) 012054. doi:10.1088/1755-1315/292/1/012054.
11. [http://solarcellcentral.com/solar\\_page.html](http://solarcellcentral.com/solar_page.html)

12. <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/drying/traditional-drying-systems/sun-drying#how-to-improve-sun-drying>
13. <http://www.litbang.pertanian.go.id/info-teknologi/3035/>
14. [https://energypedia.info/wiki/Solar\\_Drying#Solar\\_Dryers](https://energypedia.info/wiki/Solar_Drying#Solar_Dryers)
15. <https://food.ndtv.com/food-drinks/all-about-sun-drying-meaning-benefits-and-how-it-works-2239586>
16. <https://fruitsandveggies.org/stories/atb-for-062911/>
17. <https://id.wikipedia.org/wiki/Matahari>
18. [https://sunnyfruit.com/blogs/sunny-diary/environmentally-friendly-delicious-everything-you-need-to-know-about-sun-drying#:~:text=Drying%20fruits%20is%20a%20process,since%201700%20B.C%20\(Brothwell%20D.](https://sunnyfruit.com/blogs/sunny-diary/environmentally-friendly-delicious-everything-you-need-to-know-about-sun-drying#:~:text=Drying%20fruits%20is%20a%20process,since%201700%20B.C%20(Brothwell%20D.)
19. <https://www.impack-pratama.com/solar-dryer-dome-inovasi-pengeringan-hasil-pertanian/>
20. <https://www.moasnacks.com/post/drying-food-for-preservation-where-it-all-began>
21. Indiarito, R., Asyifaa, A.H., Adiningsih, F.C.P., Aulia, G.A., & Achmad, S.R. 2021. Conventional And Advanced Food-Drying Technology: A Current Review. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH VOLUME 10, ISSUE 01.
22. Kumar, A., Singh, K.U., Singh, M.K., Kushwaha, A.K.S., Kumar, A., & Mahato, S. 2022. Design and Fabrication of Solar Dryer System for Food Preservation of Vegetables or Fruit: Research Article. Journal of Food Quality.

23. Marrone, T. 2014. The beginner's guide to dehydrating food : how to preserve all your favorite vegetables, fruits, meats, and herbs. Storey Publishing: North Adam.
24. Mulato, S. 2020. Rancangan Rumah Kaca GreenHouse Untuk Pengeringan Kopi. <https://www.cctcid.com/2020/04/14/rancangan-rumah-kaca-greenhouse-untuk-pengeringan-kopi/>
25. Palecek, A. L., Marshburn, G. H., & Kriebel, B. F. 2011. Sun-Maid Raisins & Dried Fruits: serving American families & the world since 1912. Dorling Kindersley Limited.
26. Parhizi Z, Karami H, Golpour I, Kaveh M, Szymanek M, Blanco-Marigorta AM, Marcos JD, Khalife E, Skowron S, Adnan Othman N, Darvishi Y. Modeling and Optimization of Energy and Exergy Parameters of a Hybrid-Solar Dryer for Basil Leaf Drying Using RSM. *Sustainability*. 2022; 14(14):8839. <https://doi.org/10.3390/su14148839>
27. Prakash, O., dan Kumar, A. 2020. Solar Drying Systems. CRC Press: Boca Raton.
28. Rajarajeswari, K., Hemalatha, B., dan Sreekumar, A. 2018. Role of Solar Drying Systems to Mitigate CO2 Emissions in Food Processing Industries. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
29. Roger William University. 8.1 Earth's Heat Budget. <https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/8-1-earths-heat-budget/>
30. Sharma, A., Chen, C.R., Lan, N. V., 2009, Solar-energy drying systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 1185-1210.

31. Sontakke, M.S., dan Salve, S.P. 2015. Solar Drying Technologies: A Review. *International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES)* Vol. 4 (4), 29-35.
32. Sreekumar, A., dan Rajarajeswari, K. Accelerated food processing through solar drying system. IOP Publishing. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 377 (2018) 012218. doi:10.1088/1757-899X/377/1/012218.
33. Visavale, G.L. Principles, Classification and Selection of Solar Dryers. *In Solar drying: Fundamentals, Applications and Innovations*,
34. Widayana, G. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, Undiksha*, Vol.9 No.1, 37-46.

## **CABINET/TRAY DRYER**

Pengeringan dengan penggunaan rak atau kompartemen menjadi tipe pengering yang paling umum digunakan. Sirkulasi udara panas di dalam ruang pengering akan menurunkan kadar air bahan secara bertahap sesuai kondisi suhu dan kelembaban udara pengering. Fokus kegiatan selama pengeringan mengarah kepada adanya proses penyusutan material yang terbilang cukup besar. Hal ini tertangani melalui pengendalian kelembaban. Tuntutan mutu produk menjadi poin dasar pemilihan peralatan pengering. Kualitas akhir produk yang diinginkan disituasikan target kadar air produk (untuk bahan kimia yang *bulk*), dan bahan makanan lebih cenderung ke retensi rasa; palatabilitas (kemampuan untuk merasa, mencicipi, mengecap makanan dan sebagainya); dan sifat rehidrasi (penyerapan air kembali).

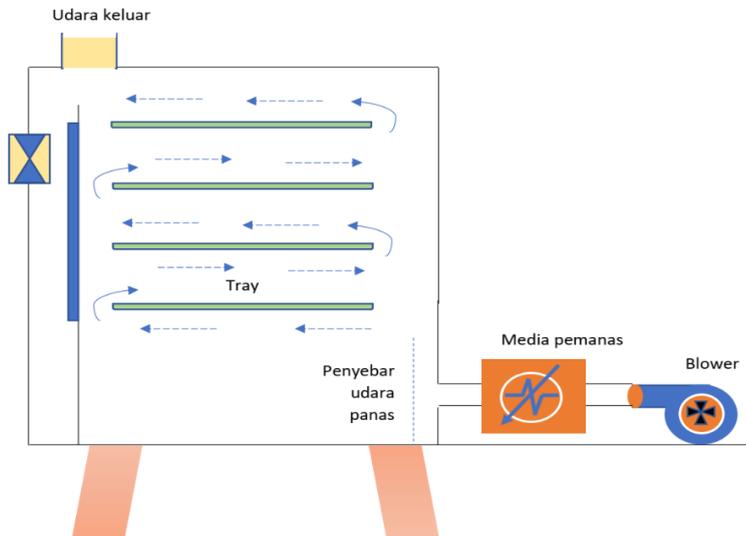
Perpindahan air yang teruapkan dapat berlangsung secara konveksi, konduksi, maupun radiasi. Ketiga tipe ini bergantung bentuk sampel yang akan dikeringkan. Pertama, konveksi terjadi dimana panas disuplai oleh udara panas atau gas yang mengalir di atas permukaan padatan secara langsung dan ini dikenal sebagai periode pengeringan laju konstan awal. Panas untuk menurunkan kadar air bahan disuplai secara konveksi ke permukaan bahan yang terbuka dan uap air yang teruapkan terbawa oleh media pengering. Umumnya proses konveksi pada pengering rak berlaku bagi bahan lembaran atau sejenis dedaunan (Ramarao et al., 2022) maupun padatan seperti bubur (Sari et al., 2019; Yılmaz et al., 2017). Kedua, konduksi merupakan tipe pengering yang berkontak secara tidak langsung, lebih cenderung untuk produk tipis (Pruengam et al., 2021) atau padatan yang sangat basah, dan ber efisiensi termal lebih tinggi. Ketiga, radiasi dapat

berasal dari energi listrik maupun spektrum matahari, dengan kisaran 0,2 m sampai 0,2 pm. Tipe ini jarang mampu penetrasi ke bagian permukaan luar. Umumnya, pengering dengan radiasi ditujukan untuk pengeringan pelapisan (*coating*), lembaran tipis, film, dan produk yang bernilai tinggi (Mujumdar, 2019).

## DESAIN PERALATAN

Pengering kabinet atau *tray* umumnya berskala kecil yang lebih cocok bagi laboratorium maupun *pilot plant*. Pengering pada Gambar 2-1 ini terdiri dari ruang pengering yang terisolasi, tumpukan beberapa *tray* (untuk meletakkan sampel, umumnya dikenal sebagai baki), penghisap udara luar (dikenal sebagai *blower*) atau semacam peralatan kipas, media pemanas udara, agen dehumidifikasi udara (sebagai tambahan aksesoris pengering, diletakkan sebelum memasuki media pemanas), dan udara panas yang melalui bahan tersebut dengan aliran searah ataupun silang (Djaeni & Sari, 2015; Nwosu-Obieogu et al., 2022; Sari et al., 2017, 2018; Utari et al., 2023).

Penggunaan dan pengeluaran *tray* tersebut dilakukan secara manual atau terbantu secara mekanis dengan memperhatikan ukuran dan kapasitas pengering. Sampel yang digunakan selama pengeringan dan produknya itu diam di atas *tray* dan *tray* terus-menerus dipindahkan dari ruang pengering.



Gambar 2-1. Komponen bagian dari pengering kabinet

Kebutuhan pengering kabinet untuk skala laboratorium dapat berbahan gelas dengan dilengkapi pengaturan suhu pengeringan. Hal ini akan membantu pengamat melihat sampel selama proses pengeringan berlangsung. Selain itu, peralatan pengering pada Gambar 2-2 juga ada yang terbuat dari bahan *stainless steel* dengan kondisi tertutup. *Tray* juga bervariasi, yaitu memiliki celah ataupun mempunyai alas di permukaan bawahnya dengan material yang aman terhadap makanan.

Peralatan pada Gambar 2-2 memiliki kisaran suhu 30-80°C (pengontrolan suhu), bersifat digital dalam pengaturan waktu, dapat beroperasi selama 24 jam penuh dalam 1 minggu, konsumsi energi rendah, dilengkapi 2 (dua) buah kipas untuk mensirkulasikan udara pemanas di dalam ruang pengering agar penyebarannya merata, terlapis untuk antimikroba hingga permukaan luarnya, dan di ruang pengering berbahan *stainless steel* untuk mencegah timbulnya korosi akibat adanya uap air bahan dan panas.



Gambar 2-2. Pengering kabinet skala laboratorium  
(Sumber: <https://www.leec.co.uk/product-sectors/laboratory/drying-cabinets/eco-drying-cabinets/>)

Keberadaan tulisan “eco” mengindikasikan insulasi termal (berbahan *double dry glassware*) secara efisien dimana peralatan pengering ini lebih dingin ketika disentuh bersamaan dengan pelepasan panas yang dibatasi, meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya selama pengoperasian. Selain itu, ada faktor K3 dibantu oleh adanya tombol di bagian belakang untuk melindungi pengering dari suhu berlebih.

Peralatan pengering kabinet skala *pilot plant* dimanfaatkan dalam kondisi secara vakum. Pompa vakum digunakan untuk memompa udara dan mengeluarkan kelembaban dari ruangan pengering yang panas dan tertutup. Peralatan pada Gambar 2-3 memberikan dampak berupa kenaikan laju pengeringan dan penghematan energi. Sistem yang terbentuk pada peralatan ini adalah *loop* dan tertutup sehingga selama proses pengeringan sampel tidak terjadi proses kontaminasi (Ashok Kumar et al., 2021; Shammi et al., 2022).



Gambar 2-3. Pengering cabinet skala pilot plant

(Sumber:

<http://www.mevishpharma.net/Vacuum%20Tray%20Dryer%20Pilot%20Plant.html>)

Uap air yang terambil dari bahan selama proses pengeringan didinginkan melalui unit kondensor yang saling terhubung dengan bagian pengumpulan kondensat. Pengering vakum ini berstruktur berat yang dilengkapi penguncian untuk pintu udara, bagian permukaannya berjaket dan berinsulasi. Terlihat dari gambar pengering cabinet vakum, udara panas dialirkan melalui *header inlet* ke setiap *tray* yang dilibatkan. Hal ini mengakibatkan adanya perpindahan panas ke permukaan *tray* dan memanaskan *tray* yang digunakan. Peralatan ini dapat ditujukan untuk bahan sensitif terhadap termal yang mudah rusak di bawah suhu yang lebih tinggi, seperti bahan kimia, bahan pewarna, obat-obatan, produk makanan, pewarna. Keberadaan kondisi vakum berperan untuk menghilangkan tingkat kerusakan bahan pengeringan.

## APLIKASI

Panas dari media pengering (udara panas) secara konveksi terjadi melewati produk, bukan melalui produk makanan. Pengering kabinet atau *tray* ini sangat cocok untuk mengurangi kadar air bahan seperti buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, daging dan produk turunannya. Hal ini disebabkan oleh kemudahan dalam mengontrol kondisi optimal pengeringan dimana sampel yang digunakan peka terhadap panas dengan kuantitas rendah.

Pengering kabinet juga cocok ditujukan untuk bahan yang bersifat lengket, bersubstansi plastik, material granular ataupun bahan kristalin. Bahan lainnya dapat dicontohkan berupa pengeringan cabai, sayur-sayuran (Cronin & Kearney, 1998), keripik kentang, bawang merah, bawang putih, ikan, anggur, irisan tomat (Dufera et al., 2021), kacang mete, pasta, kembang gula, makaroni, kayu, buah zaitun (Colak & Hepbasli, 2007) dan lainnya. Obat-obatan, granul tablet, bahan dan bubuk kimia, butiran, granul plastik, dan barang pecah belah juga diaplikasikan ke pengering tipe ini.

Pengering kabinet vakum bermanfaat bagi produk yang sensitif terhadap suhu, dan gas oksigen. Bahan higroskopis akan dikeringkan hingga produk berkadar air rendah. Akhir proses pengeringan ini mengakibatkan produk viskos dan lengket memiliki porositas yang rendah. *Tray* yang digunakan memiliki permukaan halus untuk meningkatkan laju perpindahan panas media pemanas.

## KARAKTERISTIK PRODUK KERING CABINET DRYER

Pengering kabinet memberikan sirkulasi udara panas ideal. Hal ini mudah diketahui oleh pengguna dengan memperhatikan kondisi sampel di bagian *tray* terbawah, apakah lebih dahulu kering dibandingkan sampel di *tray* lainnya. Selain itu, produk akan lebih mudah berjamur sebelum mengalami dehidrasi (pengurangan kadar air bahan). Tindakan ini akan memberikan ruang pengawetan bagi panen musiman seperti biji-bijian, tanaman umbian, makanan pokok sehingga memiliki umur simpan lebih lama dan tidak mudah rusak. Produk kering hasil *tray dryer* juga sebagian ditujukan untuk rehidrasi kembali ketika dimanfaatkan bagi manusia, seperti rumput laut, potongan sayuran, tekwan, pempek, dan lainnya. Produk ini direndam terlebih dahulu sebagai proses penyerapan air kembali sebelum digunakan.

Produk dendeng juga mendapatkan manfaat penggunaan pengering kabinet. Irisan tipis daging ini diberikan bumbu berupa garam dan rempah-rempah sebelum dikeringkan. Pemberian sejumlah bumbu tersebut mengatasi tingkat kerusakan produk ketika dikenai udara panas. Produk kering ini dapat diberikan perlakuan tambahan atau dapat dikonsumsi secara langsung. Hasil tangkapan nelayan juga diterapkan melalui pengering kabinet. Selain peranan sebagai pengawet makanan, produk kering memiliki cita rasa yang terkonsentrat. Pekatnya aroma yang tercium mengindikasikan bahwa bahan yang dikeringkan telah terminimalisir proses pembusukannya.

## KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Pengeringan kabinet selama penggunaannya mudah dioperasikan dan dikontrol parameter operasinya. Pasca penggunaan, ruang pengering dan *tray* mudah dibersihkan. Pengumpanan secara *batch* lebih banyak diterapkan pada jenis pengering ini dan ditujukan ke industri obat-obatan. Dimensi ukuran dan kapasitas setiap *tray* seragam. Bongkar muat sampel pengeringan di *tray* secara mudah tertangani dan terhindari sisi tumpah ataupun hilangnya beberapa bagian sampel. Hal ini menjadikan produk pengeringan bernilai yang tertangani secara efisien. Umumnya, kadar air yang lebih tinggi menjadi sasaran bagi pengering kabinet sebagai umpan. Waktu pengeringan yang lama disebabkan penerapan suhu rendah untuk mempertahankan kualitas produk akhir. Pengering kabinet skala laboratorium yang berbahan *glassware* lebih memudahkan pengguna dari sisi pembersihan dan pengaturan suhu pengeringan.

Sisi sebaliknya dari penggunaan pengering kabinet juga dirasakan oleh pengguna. Kebutuhan pekerja dan waktu pengeringan menjadi lebih banyak. Hal ini tentu berdampak ke pengeluaran biaya operasional. Tipe pengering ini tidak cocok untuk semua jenis bahan seperti material *slurry* cair. Tingginya kadar air bahan mengakibatkan durasi siklus pengeringan panjang, umumnya berkisar 2 hingga 42 jam per *batch*. *Tray* bagian bawah lebih cenderung memberikan produk lebih kering dibandingkan tumpukan *tray* lainnya. Hal ini terjadi jika udara panas disuplai dari bagian bawah ruang pengering. *Tray* yang tersedia memiliki ragam, yaitu tidak lubang dan berlubang. Tipe *tray* pertama ini akan memberikan perpindahan massa-panas yang berbeda dan tidak efisien selama proses pengeringan.

## REFERENSI

1. Ashok Kumar, M., Kumaresan, G., & Rajakarunakaran, S. (2021). Experimental study of moisture removal rate in moringa leaves under vacuum pressure in closed-loop heat pump dryer. *Materials Today: Proceedings*, 45, 1205–1210.
2. Colak, N., & Hepbasli, A. (2007). Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1188–1193.
3. Cronin, K., & Kearney, S. (1998). Monte carlo modelling of a vegetable tray dryer. *Journal of Food Engineering*, 35, 233–250.
4. Djaeni, M., & Sari, D. A. (2015). Low temperature seaweed drying using dehumidified air. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 2–10.
5. Dufera, L. T., Hofacker, W., Esper, A., & Hensel, O. (2021). Experimental evaluation of drying kinetics of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) slices in twin layer solar tunnel dryer. *Energy for Sustainable Development*, 61, 241–250.
6. <https://www.leec.co.uk/product-sectors/laboratory/drying-cabinets/eco-drying-cabinets/>
7. <http://www.mevishpharma.net/Vacuum%20Tray%20Dryer%20Pilot%20Plant.html>
8. Mujumdar, A. S. (2019). Handbook of industrial drying (2nd ed.). CRC Press.
9. Nwosu-Obieogu, K., Oke, E. O., & Bright, S. (2022). Energy and exergy analysis of three leaved yam starch drying in a tray dryer: Parametric, modelling and optimization studies. *Heliyon*, 8(8), 1–10.

10. Pruengam, P., Pathaveerat, S., & Pukdeewong, P. (2021). Fabrication and testing of double-sided solar collector dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101335.
11. Ramarao, K. D. R., Somasundram, C., Razali, Z., Kunasekaran, W., & Li Jin, T. (2022). The antioxidant properties and microbial load of Moringa oleifera leaves dried using a prototype convective air-dryer. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103290.
12. Sari, D. A., Djaeni, M., Hakiim, A., Sukanta, S., Asiah, N., & Supriyadi, D. (2018). Enhancing quality of drying mixed shrimp paste from karawang with red pigment by angkak. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 29(3), 72–75.
13. Sari, D. A., Hakiim, A., & Sukanta, S. (2017). Pengerangan terasi lokal Karawang: Sinar matahari - tray dryer. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 6(2), 311–320.
14. Sari, D. A., Saputro, N. W., Hakiim, A., & Sukanta. (2019). Bananas Muli as a product fruit leather through using microwave and oven dryers. *Journal of Sustainable Engineering: Proceedings Series*, 1(2), 174–179.
15. Shammi, S., Hossen, M. A., Al Mamun, M. R., & Alam Soeb, M. J. (2022). Temporal and spatial representation of temperature and moisture in drying chamber and its impact on vertical vacuum dehumidifying rice seed dryer performance. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 1–8.
16. Utari, F. D., Sari, D. A., Kurniasari, L., Kumoro, A. C., Djaeni, M., & Hii, C.-L. (2023). The enhancement of sappanwood extract drying with foaming agent under different temperature. *AIMS Agriculture and Food*, 8(1), 214–235.

17. Yılmaz, F. M., Yüksekaya, S., Vardin, H., & Karaaslan, M. (2017). The effects of drying conditions on moisture transfer and quality of pomegranate fruit leather (pestil). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 33–40.

## FLUIDIZED BED DRYER

Pengeringan unggun terfluidisasi (*fluidized bed drying*) merupakan salah satu pengering efisien dalam menangani material teraglomerasi, memodifikasi sifat partikel dari sisi kemampuan mengalir (*flowability*), dan dispersi (terurai) atau kelarutan terhadap produk yang terbentuk dari sejumlah peningkatan produk lainnya. Proses granulasi unggun fluida secara *batch* lebih umum digunakan di industri farmasi (Wan Daud, 2008). Lainnya dimanfaatkan sejumlah kecil dari lingkup makanan, gabah padi (Sitorus et al., 2021; Suherman et al., 2017), jagung (Djaeni et al., 2013), semacam tepung atau sagu (Rosli et al., 2020), *nutraceutical*, agrokimia, zat warna, dan industri kimia lainnya (Miranda et al., 2013). Untuk secara kontinyu, proses pengeringan dan beberapa kajian aglomerasi ditujukan untuk produk dengan volume tinggi tertentu (Nanan et al., 2023).

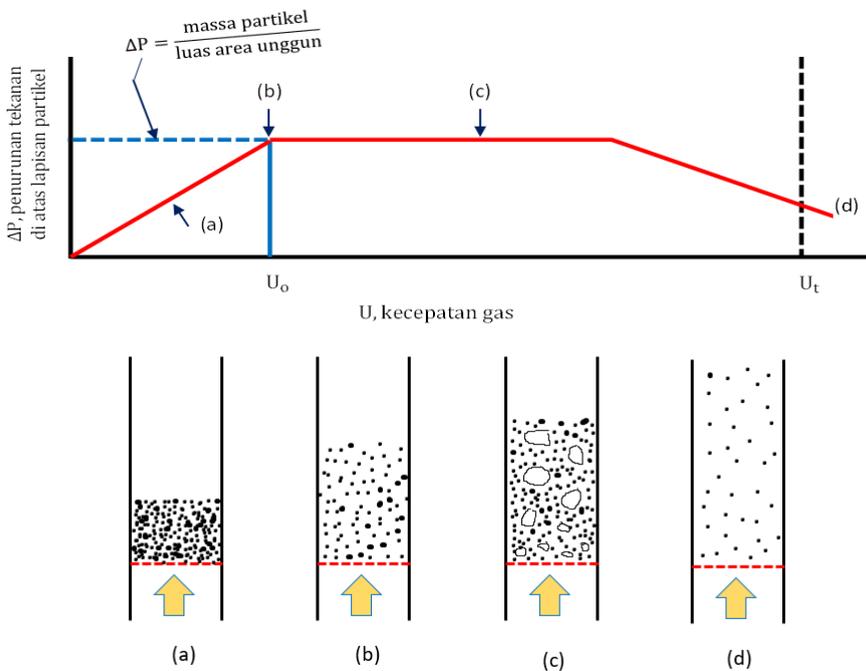
Fluidisasi adalah suatu proses transformasi kondisi padatan halus menjadi keadaan layaknya fluida melalui adanya kontak gas (umumnya memanfaatkan udara). Gas pada kecepatan tertentu akan mengakibatkan partikel bebas bergerak tanpa adanya proses sedimentasi. Unggun terfluidisasi diibaratkan seperti fluida yang mendidih secara kuat dan diikuti gerakan partikel padat yang sangat turbulen, akibat adanya peningkatan kecepatan gas. Maka, fluidisasi partikel halus padat-gas merupakan *output* dari kesetimbangan antara tiga gaya berupa: hidrodinamika, gravitasi, dan antar partikel dengan mengantongi ketergantungan ukuran partikel, massa jenis, bentuk, dan sifat permukaan untuk mencapai kecepatan fluidisasi minimum aliran udara.

Seperti yang disampaikan sebelumnya bahwa aliran udara menjadi faktor utama untuk mengontrol proses pengeringan dalam unggun terfluidisasi. Proses pengurangan kandungan air yang dimiliki oleh suatu bahan dapat berlangsung secara efisien. Hal ini akan tercapai melalui pengoptimalan suspensi dan pergerakan partikel dalam aliran udara (kontak permukaan partikel ke udara atau gas). Peneliti sebaiknya memiliki kemampuan tentang bagaimana merekayasa aliran udara yang dihasilkan, dikondisikan, dan didistribusikan melalui unggun selama proses pengeringan berlangsung. Selain itu, klasifikasi partikel juga turut dipahami karena adanya hubungan antara diameter pori terhadap kerapatan jenis fluida, yaitu:

1. Ukuran partikel optimal untuk fluidisasi antara 50-2000  $\mu\text{m}$ , dengan partikel rata-rata berukuran 50-5000  $\mu\text{m}$  untuk mengatasi *channeling* dan *slugging* yang berlebihan.
2. Partikel halus yang ukurannya < 50  $\mu\text{m}$  dan tidak dapat terfluidisasi karena lembab membutuhkan bantuan tambahan secara mekanis, seperti penggarukan pada unggun serbuk (tentu menambah biaya peralatan, pembersihan, dan perawatan).
3. Produk serbuk farmasi tidak dapat diproses secara terpisah jika ukurannya sekitar 20  $\mu\text{m}$ . Di bawah batasan ini, fluidisasi yang *steady* tanpa adanya perlambatan berlangsung dalam kondisi sulit.
4. Partikel yang sangat halus lebih cenderung menyatu karena adanya gaya kohesif (berkaitan dengan sangat besarnya luas permukaan). Kondisi ini umumnya memberikan proses fluidisasi yang buruk ketika laju alir gas yang elusi yang berlebihan dapat dihindari.

## PRINSIP KERJA

Kolaborasi antara pencampuran partikel padat-gas yang baik, tingginya laju perpindahan panas, dan keseragaman profil temperatur menjadi indikator sebuah unggun terfluidisasi akibat pergerakan partikel yang cepat. Pengeringan unggun terfluidisasi memiliki 3 tahapan (Gambar 3-1), yaitu tahap pemanasan awal yang singkat (a), tahap laju konstan (dimana kondisi suhu unggun juga menjadi konstan (b-c), dan tahap laju penurunan (d).



Gambar 3-1. Zona-zona fluidisasi gas (Mujumdar, 2019)  
(dimana  $U_o$  dan  $U_t$  adalah laju alir gas untuk melangsungkan proses fluidisasi partikel, dan laju penurunan aliran gas bagi partikel)

Proses fluidisasi dimulai ketika gas dilewatkan dari bagian bawah ke atas melalui lapisan partikel (disebut unggun). Gas pada laju aliran rendah hanya melewati unggun (*fixed bed*, unggunnya diam), tidak ada proses pencampuran partikel, yaitu kondisi (1.a) dimana  $U < U_o$ . Ketika laju alir gas ditingkatkan, penurunan tekanan yang melintasi unggun meningkat sebanding dengan laju alir gas hingga penurunan tekanan mencapai titik ekuivalen antara massa partikel dalam unggun per satuan luas unggun, yaitu kondisi (1.b),  $U = U_o$ . Pada zona ini, seluruh partikel tersuspensi di dalam gas yang mengalir ke bagian atas dan gaya gesek antara partikel dan gas mengimbangi massa partikel sehingga saat ini unggun dapat dikatakan telah terfluidisasi (meskipun unggun homogen berkarakteristik layaknya liquid, hanya terjadi proses pencampuran partikel secara moderat).

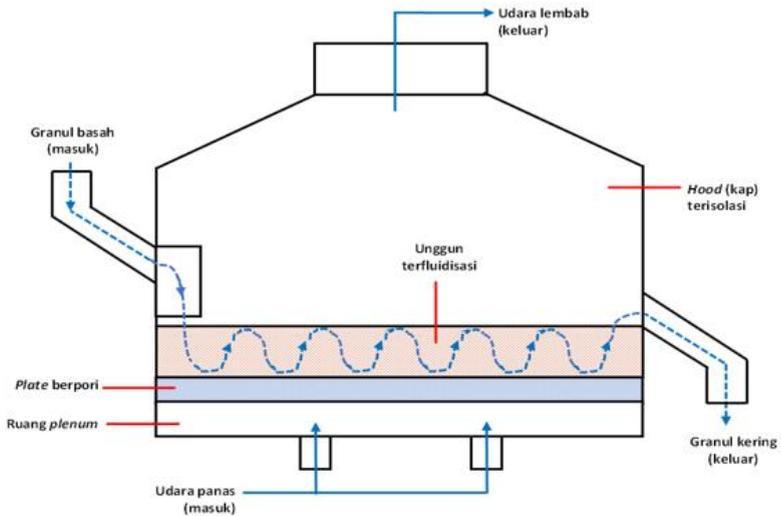
Ketika laju alir gas dinaikkan hingga di atas  $U_o$ , kondisi (1.c), dimana  $U > U_o$  dan  $U \ll U_t$ , laju alir gas untuk proses fluidisasi yang baru tercapai dimana setiap gas tambahan untuk fluidisasi akan melalui unggun sebagai gelembung. Gelembung gas ini akan berukuran kecil di area distributor gas dan antar gelembung bergabung secara cepat, lalu naik melalui unggun sehingga menyebabkan pencampuran sangat kuat dari partikel terfluidisasi (singkatnya: proses pencampuran partikel dikontrol oleh gelembung). Ketika laju alir gas lebih ditingkatkan kembali (kondisi 1.d,  $U \geq U_t$ , perpindahan secara pneumatik) dan mencapai suatu titik yang mengakibatkan gaya tarik meningkat hingga sejumlah partikel terperangkap di dalam aliran gas dan terbawa dari unggun fluida (d). Untuk partikel padat yang lebih halus secara umumnya akan lebih mudah terbawa dan terperangkap dengan kuantitas tertentu, tergantung bagaimana cara gelembung gas “*burst* – meledak” di permukaan lapisan terfluidisasi.

## DESAIN PERALATAN

Alat pengering unggun terfluidisasi memiliki dua tipe. Pertama adalah konvensional dengan ragam pengering unggun terfluidisasi secara *batch*, secara semi-kontinyu, tercampur merata, dan dengan aliran *plug*). Kedua adalah jenis termodifikasi seperti:

- pengering unggun terfluidisasi secara hibrid
- pengering unggun terfluidisasi berdenyut atau *pulsating*
- pengering unggun terfluidisasi dengan penukar panas yang teredam
- pengering unggun terfluidisasi dilengkapi peralatan mekanik
- pengering unggun terfluidisasi yang bervibrasi
- pengering unggun terfluidisasi yang beragitasi
- pengering unggun terfluidisasi dengan partikel *inert*
- pengering unggun terfluidisasi yang menyembur
- pengering unggun terfluidisasi dengan sirkulasi berulang
- pengering unggun terfluidisasi *jetting*
- pengering unggun terfluidisasi dengan *superheated steam*
- pengering beku dengan unggun terfluidisasi
- Pengering terfluidisasi dengan *heat pump*

Bagian-bagian utama dari pengering unggun terfluidisasi (Gambar 3-2) adalah blower (menghisap udara luar), elemen pemanas (*heater* – pemanas udara luar), *plenum* (saluran masuk udara panas ke ruang pengeringan), kipas (menghembuskan udara panas ke *plenum*), ruang pengering (tempat melangsungkan proses penurunan kadar air yang dimiliki umpan, perpindahan massa dan panas), dan *hopper* (sebagai penyimpanan umpan secara sementara sebelum ditujukan ke ruang pengering).

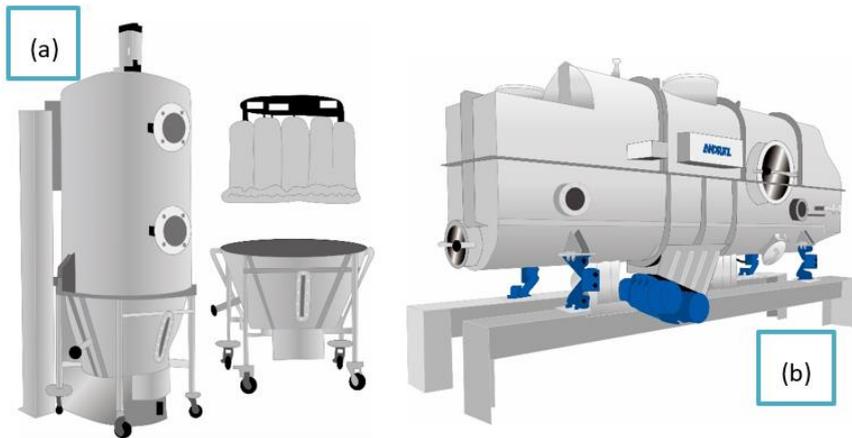


Gambar 3-2. Komponen bagian dari pengering unggun terfluidisasi  
 (Sumber: digambar ulang dari  
<https://www.aeroengineering.co.id/2021/06/fluidized-bed-dryer/>)

Penggunaan pengering unggun terfluidisasi berada di industri makanan dan obat-obatan sehingga material peralatan berupa *stainless steel*, tipe SS 316L atau bahan *inert* yang sesuai menurut CPOB 2018. Udara panas sebagai media pengering (yang telah disaring sebelumnya) dihembuskan dari bagian bawah *bowl* dan melewati unggun. Peralatan ini dilengkapi kipas atau blower yang berada di atas peralatan dengan kapasitas pengeringan sebesar 5-200 kg/jam selama 20-40 menit (operasi *batch*).

Kantung pada peralatan pada Gambar 3-3. (a) yang dimiliki bertujuan untuk meningkatkan luas area pengeringan dari unggun pengering. Peralatan ini dilengkapi adanya *sampling* pengukuran kadar air produk sebagai bentuk kontrol dari *loss of drying*. Dengan demikian, pengguna dapat menetapkan

rentang kadar air produk yang diinginkan. Perawatan juga menjadi tindakan pembersihan rutin atas kantung peralatan untuk mencegah kontaminasi silang. Peralatan ini sebaiknya dihindari untuk beberapa serbuk organik karena material tersebut mampu menghasilkan muatan elektrostatis.



Gambar 3-3. Implementasi pengering unggun fluidisasi di industri

(Sumber gambar: (a) <https://farmasiindustri.com/cpob/prinsip-kerja-fluid-bed-dryer-fbd.html> dan (b) <https://thurne.se/product/fluid-bed-dryer-vdc/>)

Material umpan yang berserat, lengket, dan kasar diarahkan ke penggunaan pengering unggun terfluidisasi dengan bervibrasi. Getaran yang diberikan pada peralatan Gambar 3-3. (b) dapat searah ataupun tidak terhadap aliran gas. Hal ini dilakukan untuk mengatasi produk dengan sifat-sifat proses fluidisasi yang lebih buruk. Selain itu, proses pengeringan ini dilanjutkan ke proses pendinginan dalam satu unit peralatan dengan dilengkapi karakteristik aliran *plug* (sumbat) terhadap profil temperatur atau kelembaban yang khas. Jenis peralatan ini lebih sesuai untuk produk makanan dan pakan ternak dengan kondisi peralatan horizontal, serta obat-obatan (Gagnon et al., 2021a, 2021b).

Penggunaan untuk skala laboratorium melibatkan peran proses pengeringan dan granulasi dengan adanya perawatan kartid penyaring berbahan poliester melalui pemberian udara terkompresi dengan aliran berlawanan arah. Inspeksi peralatan Gambar 3-4 bagi pengguna dapat dilakukan melalui layar untuk memantau suhu udara masuk (umpan) dan keluar bagi produk dengan tekanan maksimal 12 bar, serta pengukuran secara gravimetri terhadap waktu pengamatan. Peralatan ini dilengkapi unit dehumidifikasi udara seperti zeolit baik alami maupun sintesis (Widjanarko et al., 2012) sebagai agen mereduksi kandungan air dalam udara (menurunkan beban kinerja unit pemanas udara).

## **APLIKASI**

Pengering unggun terfluidisasi telah berhasil diterapkan untuk menangani penurunan kadar air gabah padi dengan kondisi tekanan atmosfer maupun di bawahnya. Efisiensi energi juga diraih hingga 37% dengan suhu inlet udara sebesar 65°C. Hal ini tentu dipengaruhi oleh beban umpan, laju alir gas, suhu proses pengeringan, derajat kemiringan area proses fluidisasi, pola aliran searah, berlawanan, ataupun spiral untuk mencapai laju alir gas yang superfisial untuk mencapai kondisi optimal pengeringan unggun terfluidisasi.



Gambar 3-4. Pengering unggun fluidisasi skala laboratorium  
(Sumber Gambar: <https://www.cosmec-it.com/en/prodotti/laboratory-fluid-bed-dryer>)

Pengaturan variabel ini berdampak ke sisi ekonomi, keuntungan per tahun, dimana rata-rata alat pengering umumnya mampu mencapai 28% untuk efisiensi eksergi dengan pola aliran spiral (Das et al., 2023). Pasca panen pertanian dan perkebunan berbentuk biji-bijian atau *grain* (Borel et al., 2020), obat-obatan, dan bahan produk kesehatan menjadi target pemanfaatan peralatan pengering unggun terfluidisasi.

Pengering unggun terfluidisasi dengan vibrasi diterapkan untuk produk makanan dan industri susu, seperti susu, air dadih (*whey*), coklat, teh, bumbu rempah-rempah (contoh: andaliman, khas Batak Toba), dan kopi. Selain itu, produk lainnya adalah garam anorganik, pupuk tergranulasi, dan

produk tambang (seperti batubara (Chen et al., 2020) sub-bituminus). Untuk pengering unggun terfluidisasi yang menyembur lebih cocok menangani material gandum, tepung terigu, tepung tapioka, dan sejenis tepung atau turunan lainnya (partikel padatan halus). Lalu, penggunaan partikel *inert* mampu menangani produk pasta susu kedelai, kopi instan, maupun produk serbuk lainnya.

## KARAKTERISTIK PRODUK

Pemanfaatan pengering unggun terfluidisasi disesuaikan dengan bahan yang diumpangkan. Udara panas yang diberikan melangsungkan proses pengurangan kadar air pada bahan serbuk, serat, kristal dan pelet atau ekstrusi. Beberapa bahan yang dikeringkan selanjutnya mendapatkan proses pendinginan melalui proses integrasi unggun. Sementara, uap air pada material kristal tereduksi melalui proses kalsinasi. Lalu, bahan biji-bijian seperti kopi yang membutuhkan proses *roasting* berguna untuk penanganan aroma, cita rasa, dan tekstur. Untuk material yang berkarakter biomassa ringan mengalami proses torefaksi sebagai suatu bentuk proses pirolisis di suhu 200-320°C sebelum memasuki proses pengeringan tipe ini.

Produk seperti beras dan gandum pasca proses pengeringan unggun terfluidisasi akan memiliki kemampuan mengembang di suhu tinggi dengan *bulk density* lebih rendah. Hal ini akan memberikan properti pemasakan yang lebih baik. Produk rempah-rempah, herbal dan botani, sayuran kering, biji-bijian, dan kacang-kacangan mendapatkan proses sterilisasi uap alamiah (103-122°C) dan pasteurisasi (85-98°C) untuk menjaga kualitasnya. Sedangkan, proses *blanching* diberikan untuk menonaktifkan enzim dan menghilangkan kulit material proses.

## KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Implementasi di industri telah memberikan perkembangan dan kestabilan. Berbeda di segi penelitian yang belum mencapai kemajuan seperti di seluruh industri pengolahan makanan dan kimia karena peneliti masih berputar di desain pengering unggun dengan konsep pengetahuan empiris. Kekurangan dari peralatan pengering unggun terfluidisasi (Mujumdar, 2019) yaitu:

1. Tingginya penurunan tekanan merupakan akibat dari kebutuhan untuk menanggulangi seluruh unggun yang mana sama-sama berkaitan dengan tingginya konsumsi energi
2. Membutuhkan peningkatan penanganan gas dengan dilatarbelakangi resirkulasi ekstensif gas buang untuk operasi efisiensi termal yang tinggi
3. Jika material umpan terlalu basah akan mengakibatkan buruknya proses fluidisasi dan rendahnya pergerakan partikel padatan
4. Tidak menjadi opsi peralatan terbaik jika material umpan yang mengandung pelarut organik harus dihilangkan selama proses pengeringan
5. Untuk jenis pengering unggun terfluidisasi tertentu, adanya ketidakseragaman kualitas produk
6. Ditemukannya penahanan partikel halus
7. Tinggi potensi gesekan dan dalam beberapa persoalan aglomerasi (penggumpalan) pada partikel halus
8. Pengering unggun terfluidisasi dengan udara panas konvensional bukanlah opsi yang bagus sebagai pengering ketika umpan berupa padatan yang mudah terbakar atau beracun karena bahaya kebakaran atau ledakan melebihi ambang batas yang ditentukan

Keuntungan yang diberikan oleh penggunaan pengering unggun dengan aliran partikel terfluidisasi secara merata adalah proses terkontrol secara otomatis dengan penanganan umpan dan produk yang mudah karena kondisi operasi hampir berlangsung secara isothermal di seluruh bagian unggun terfluidisasi melalui pencampuran partikel padatan yang cepat. Selain itu, kelebihan lainnya yaitu skala operasi besar dan berkelanjutan; laju perpindahan panas antara unggun terfluidisasi dan objek teredam (*immersed*); pertukaran massa dan panas berlangsung cepat antara partikel padatan dan gas sehingga produk yang terlalu panas dapat dihindari; dapat ditambahkan multi tahap untuk menangani kualitas produk (Yogendrasasidhar & Setty, 2019); serta sisi biaya perawatan lebih rendah karena tidak adanya bagian yang bergerak secara mekanis.

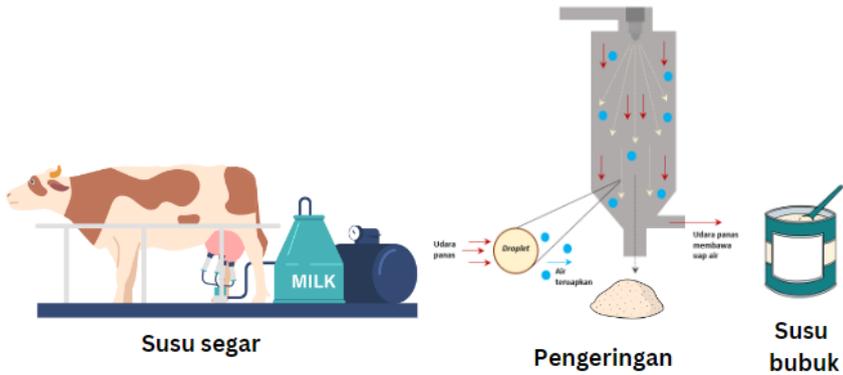
## REFERENSI

1. Borel, L. D. M. S., Marques, L. G., & Prado, M. M. (2020). Performance evaluation of an infrared heating-assisted fluidized bed dryer for processing bee-pollen grains. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 155, 108044.
2. Chen, Q., Hu, J., Yang, H., Wang, D., Liu, H., Wang, X., & Chen, H. (2020). Experiment and simulation of the pneumatic classification and drying of coking coal in a fluidized bed dryer. *Chemical Engineering Science*, 214, 1–14.
3. Das, H. J., Saikia, R., & Mahanta, P. (2023). Thermo-economic assessment of bubbling fluidized bed paddy dryers. *Energy*, 263(Part C).
4. Djaeni, M., Aishah, N. A., Nissaulfasha, H., & Buchori, L. (2013). Corn drying with zeolite in the fluidized bed dryer under medium temperature. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 24(2), 13–18.
5. Gagnon, F., Desbiens, A., Poulin, É., Bouchard, J., & Lapointe-Garant, P.-P. (2021a). Grey-box model calibration and validation for a continuous horizontal fluidized bed dryer. *Chemical Engineering Research and Design*, 174, 254–266.
6. Gagnon, F., Desbiens, A., Poulin, É., Bouchard, J., & Lapointe-Garant, P.-P. (2021b). Simple model and predictive control of a pharmaceutical batch fluidized bed dryer. *IFAC-PapersOnLine*, 54(3), 7–12.
7. <https://farmasiindustri.com/cpob/prinsip-kerja-fluid-bed-dryer-fbd.html>
8. <https://thurne.se/product/fluid-bed-dryer-vdc/>
9. <https://www.aeroengineering.co.id/2021/06/fluidized-bed-dryer/>

10. <https://www.cosmec-it.com/en/prodotti/laboratory-fluid-bed-dryer>
11. Miranda, R. C., Guimarães Neto, J. F., Aguiar, B. B. A., Martins, M. A. S., & Silva, C. L. S. (2013). Model predictive control of potassium chloride drying by fluidized bed dryer. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(16), 76–80.
12. Mujumdar, A. S. (2019). *Handbook of industrial drying* (2nd ed.). CRC Press.
13. Nanan, K., Eiamsa-ard, S., Chokphoemphun, S., Kumar, M., Pimsarn, M., & Chuwattanakul, V. (2023). Influence of bed height and drying temperature on shrimp drying characteristics using a fluidized-bed dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 48, 1–13.
14. Rosli, M. I., Abdul Nasir, A. M., Takriff, M. S., & Ravichandar, V. (2020). Drying sago pith waste in a fluidized bed dryer. *Food and Bioprocess Technology*, 123, 335–344.
15. Sitorus, A., Novrinaldi, Putra, S. A., Cebro, I. S., & Bulan, R. (2021). Modelling drying kinetics of paddy in swirling fluidized bed dryer. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, 1–8.
16. Suherman, S., Djaeni, M., Wardhani, D. H., & Kumoro, A. C. (2017). Paddy drying in batch fluidized bed and scale-up simulation in continuous operation mode. *KnE Life Sciences*, 2(6), 430–438.
17. Wan Daud, W. R. (2008). Fluidized bed dryers—Recent advances. *Advanced Powder Technology*, 19(5), 403–418.
18. Widjanarko, A., Djaeni, M., Ridwan, R., & Ratnawati, R. (2012). Penggunaan zeolite sintetis dalam pengeringan gabah dengan proses fluidisasi indirect contact. 2(2), 103–110.
19. Yogendrasasidhar, D., & Setty, Y. P. (2019). Experimental studies and thin layer modeling of pearl millet using continuous multistage fluidized

bed dryer staged externally. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(2), 428–438.

## SPRAY DRYER



Gambar 4-1. Ilustrasi Aplikasi Pengeringan Ikan Dengan Menggunakan Spray Drying (Sumber: Ilustrasi penulis)

Pengeringan semprot (*spray drying*) merupakan salah satu teknik pengeringan yang efektif dan efisien yang dapat menghasilkan bahan pangan berkualitas tinggi dengan proses dehidrasi cepat. Pengeringan semprot sangat cocok untuk produksi bubuk kering, butiran atau produk aglomerasi lainnya dari pengumpulan cairan yang dapat dipompa, seperti larutan, suspensi dan emulsi. Konsep pengeringan semprot didasarkan pada peningkatan luas permukaan bidang kontak yang tinggi antara bahan yang akan dikeringkan dan media pengering yang dikenal dengan proses atomisasi.

Berbagai jenis konfigurasi pengeringan semprot yaitu variasi dalam ukuran dan bentuk ruang pengering, jenis perangkat atomisasi (alat penyemprot putar, nozzle tekanan, nozzle pneumatik, perangkat ultrasonik, dan sebagainya), sistem kontak *droplet/* tetesan udara dan sistem pengumpulan produk. Produk pengeringan semprot ini mempunyai kadar air

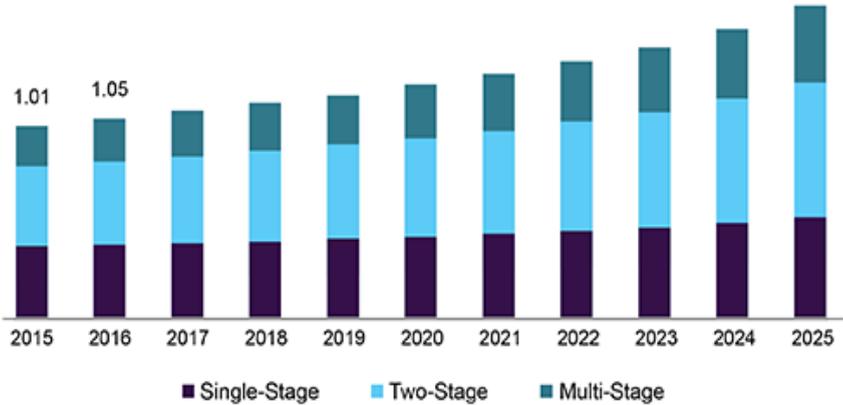
yang rendah dengan umur simpan yang lebih lama, volume dan berat yang berkurang sehingga menyebabkan berkurangnya pengemasan, penanganan dan transportasi yang lebih mudah.

Penerapan *spray drying* dalam industri dimulai dari awal 1800-an, namun baru pada tahun 1850-an secara teknologi layak untuk menerapkan operasi unit ini secara industri, dan pertama kali dipatenkan pada tahun 1872 oleh Samuel. Teknik pengeringan semprot telah berhasil digunakan dalam industri makanan selama decade, dan proses mikroenkapsulasi merupakan salah satu metode enkapsulasi tertua yang digunakan sejak tahun 1930 untuk menghasilkan cita rasa pada produk pangan. Mikroenkapsulasi dengan proses pengeringan semprot digunakan dalam industri makanan sejak tahun 50-an. Proses ini diterapkan untuk melindungi cita rasa dari degradasi/ oksidasi, mengeringkan suspense padat dan diterapkan pada molekul bioaktif dan probiotik. Beberapa penelitian terkait pengeringan semprot selama 3-4 tahun terakhir dalam bidang pangan dan farmasi diantaranya produk jus buah dan sayuran, probiotik dan bakteri yang *food grade* lainnya, minyak enkapsulasi, bubuk susu berprotein tinggi.

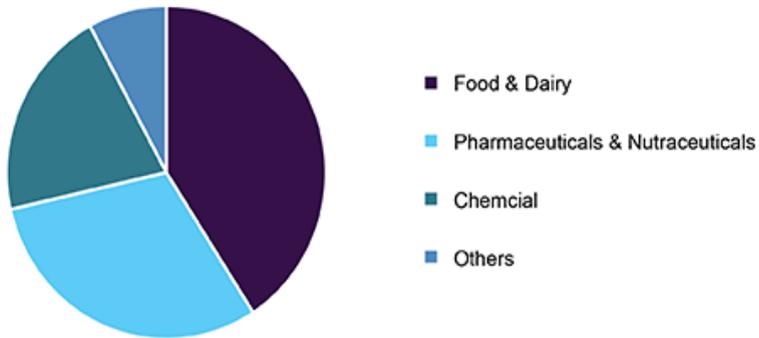
Perkembangan teknologi pengeringan semprot mengalami peningkatan yang signifikan sehingga menghasilkan produk bubuk yang bervariasi dan berkualitas. Produk bahan pangan berbentuk bubuk di era modernisasi berdampak pada minat masyarakat yang praktis dan instan. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4-2 bahwa estimasi pasar peralatan pengering semprot bernilai USD 4,63 miliar pada tahun 2018 dan diproyeksikan akan meningkat pada *Compounded annual growth rate* (CAGR) sebesar 6,8% dari 2019 hingga 2025. Meningkatkan preferensi untuk produk makanan

fungsional dan *Ready-To-Eat* (RTE) dan fokus pada perusahaan pengolahan makanan dalam memperkenalkan produk dengan umur simpan yang lebih lama, diharapkan dapat mendorong pertumbuhan pasar dari tahun 2019 hingga 2025. Meningkatnya penggunaan produk dalam industri farmasi dan nutraceutical dalam produksi antibiotik, penisilin, enzim, dan whey protein juga diharapkan dapat mendorong pertumbuhan pasar.

Selain itu, pada Gambar 4-3 menunjukkan bahwa makanan dan produk susu adalah segmen aplikasi terbesar di tahun 2018 karena penggunaan peralatan yang signifikan untuk memproduksi produk bayi, bubuk telur, dan bubuk kopi. Selain itu, keputusan yang menguntungkan oleh pemerintah negara berkembang, seperti Indonesia, India dan China, untuk industri pengolahan makanan mendorong perusahaan industri susu untuk memasang pabrik pengolahan di negara-negara tersebut. Hal ini diharapkan dapat mendorong pertumbuhan segmen.



Gambar 4-2. Estimasi Pasar Peralatan Pengering Semprot (2015-2025)  
(Sumber: [www.grandviewresearch.com](http://www.grandviewresearch.com))



Gambar 4-3 Pangsa pasar peralatan pengeringan semprot global pada 2018 (dalam%)

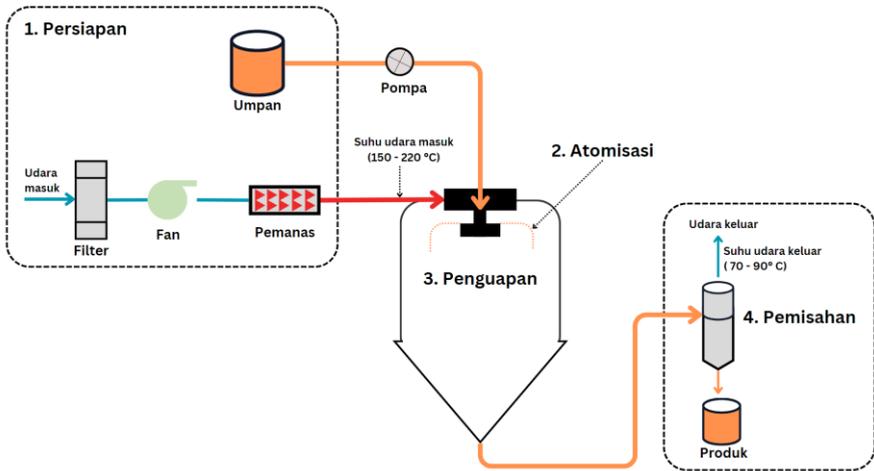
Sumber: [www.grandviewresearch.com](http://www.grandviewresearch.com)

## PRINSIP KERJA

*Spray drying* merupakan teknik pengeringan yang paling ekonomis dengan biaya operasional yang rendah. Pada skala industri menunjukkan bahwa *spray drying* lebih ekonomis sekitar 4-5 kali daripada *freeze drying* karena penggunaan listrik yang lebih sedikit dan waktu pengeringan yang singkat. *Spray drying* lebih ekonomis 8 kali daripada *freeze drying* dan 4 kali lebih ekonomis daripada *vacuum drying*. Selain itu, *spray drying* mempunyai kelebihan yaitu waktu kontak pengeringan relatif singkat (5-100 detik), dapat mempertahankan kualitas nutrisi, warna dan rasa.

Produk yang dikeringkan dengan *spray drying* sangat stabil karena kadar air dan aktivitas air yang rendah. Secara umum, kadar air dan aktivitas air pada produk *spray drying* bubuk buah dan sayur berkisar 2-5% dan 0,2-0,6. Produk *spray drying* bubuk tahan terhadap degradasi mikrobiologi dan oksidasi yaitu reaksi pencoklatan, reaksi hidrolitik, oksidasi lipid dan aktivitas enzim. Oleh karena itu, teknik ini dapat diterapkan untuk menghasilkan produk makanan dan farmasi. Selain itu, pembeli lebih menyukai produk

*spray drying* bubuk karena stabilitas dan kelarutannya yang lebih baik. Proses *spray drying* terdiri dari 4 tahapan diantaranya atomisasi sampel umpan, pengeringan *droplet* cairan, pemisahan bubuk. Proses *spray drying* ditunjukkan pada gambar 4-4.



Gambar 4-4. Sistem *spray drying* satu tahap konvensional dengan atomizer putar dan aliran udara *co-current*  
(Sumber: Gambar ulang dari Samborska et al, 2022)

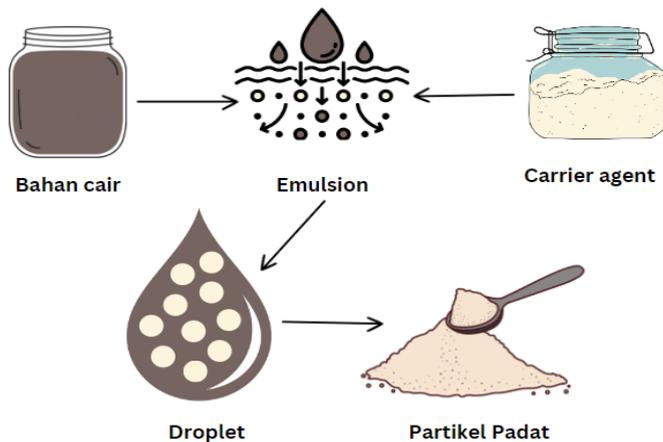
Berikut ini merupakan 4 tahapan proses *spray drying*:

1. Persiapan umpan

Bahan cair yang dapat digunakan pada proses *spray drying* meliputi larutan, emulsi dan suspensi. Bahan umpan harus disiapkan dengan baik. Bahan umpan harus dikonsentrasikan terlebih dahulu agar lebih ekonomis karena efisiensi termal *spray drying* relatif rendah, karena udara panas dalam *chamber* bervolume besar tanpa kontak untuk menyemprotkan *droplet*. Efisiensi panas *spray drying* sekitar 25-60%, bahkan ada yang <10%. Konsumsi panas untuk menguapkan air sebesar 5000 kJ/kg, sedangkan panas

laten untuk penguapan air lebih dari dua kali lipatnya yaitu 2260 kJ/kg. Namun demikian, atomisasi yang mempunyai kekentalan tinggi harus diverifikasi dengan tepat, karena dapat menahan atau terjadi penyumbatan umpan sehingga proses tidak maksimal.

Metode *spray drying* banyak digunakan sebagai metode dehidrasi dan metode enkapsulasi. Enkapsulasi dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu ekstrusi, konservasi, pengeringan, serta melindungi senyawa bioaktif dari kondisi lingkungan yang tidak diinginkan, seperti suhu tinggi, kelembaban, oksigen, pH yang bervariasi dan radiasi UV. Waktu pengeringan pada proses *spray drying* yang singkat dengan media pengering panas sehingga metode ini sangat direkomendasikan untuk zat termolabil maka dapat diterapkan untuk enkapsulasi nutraceuticals, probiotik, cita rasa dan enzim. Ukuran produk dari hasil enkapsulasi bergantung pada metode pembuatan emulsi, pemilihan jenis bahan dinding, viskositas emulsi dan kondisi operasi *spray drying*.



Gambar 4-5. Tahapan Proses Mikroenkapsulasi  
(Sumber: Ilustrasi penulis)

Proses pembentukan partikel dengan *spray drying* yaitu penguapan pelarut dan difusi zat terlarut dalam droplet karena perpindahan panas dan massa secara simultan. Pada gambar 4-5 menunjukkan bahwa bahan cair/larutan produk (A) dan *Carrier Agent* (B) dicampurkan menjadi emulsi (C) kemudian disemprotkan menggunakan *spray drying* menjadi *droplets* (D). Dengan demikian, pelarut menguap, *droplets* menyusut, dan bubuk padat terbentuk. Produk akhir (E) adalah partikel padat serbuk halus yang dapat berbentuk amorf atau kristal.

Penerapan proses *spray-drying* dalam mikroenkapsulasi melibatkan tiga langkah dasar: persiapan dispersi atau emulsi yang akan diproses; homogenisasi dispersi; dan atomisasi massa ke dalam ruang pengering. Mikroenkapsulasi dengan pengeringan semprot melibatkan empat tahap: persiapan dispersi atau emulsi; homogenisasi dispersi; atomisasi emulsi umpan; dan dehidrasi partikel yang diatomisasi.

*Tahap* pertama adalah pembentukan emulsi yang halus dan stabil dari bahan inti dalam larutan dinding. Campuran yang akan diatomisasi disiapkan dengan mendispersikan bahan inti, yang biasanya bersifat hidrofobik, ke dalam larutan zat pelapis yang tidak dapat bercampur. Dispersi harus dipanaskan dan dihomogenkan, dengan atau tanpa penambahan pengemulsi tergantung pada sifat pengemulsi dari bahan pelapis. Dalam proses pengeringan semprot, *droplet* emulsi awal berdiameter 1–100  $\mu\text{m}$ . Sebelum tahap pengeringan semprot, emulsi yang terbentuk harus stabil selama periode waktu tertentu, *droplet* minyak harus agak kecil dan viskositas harus cukup rendah untuk mencegah masuknya udara ke dalam partikel. Viskositas emulsi dan distribusi ukuran partikel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap mikroenkapsulasi dengan pengeringan semprot. Viskositas tinggi

mengganggu proses atomisasi dan mengarah pada *droplet* besar yang mempengaruhi laju pengeringan. Retensi bahan inti selama mikroenkapsulasi dengan pengeringan semprot dipengaruhi oleh komposisi dan sifat emulsi dan oleh kondisi pengeringan.

Emulsi minyak dalam air yang diperoleh kemudian diatomisasi menjadi aliran udara panas yang disuplai ke ruang pengering dan penguapan pelarut. Saat partikel yang disemprotkan jatuh melalui media gas, mereka berbentuk bulat dengan minyak terbungkus dalam fase air. Eksposisi waktu yang singkat dan penguapan air yang cepat menjaga suhu inti di bawah 40°C, terlepas dari suhu tinggi yang umumnya digunakan dalam proses tersebut.

Untuk mendapatkan efisiensi mikroenkapsulasi dan bahan dinding (*wall material* atau *carrier agent*) yang sesuai maka diperlukan kondisi operasi *spray drying* yang optimal. Faktor penting kondisi operasi *spray drying* yang harus dioptimalkan yaitu suhu umpan, suhu udara masuk dan suhu udara keluar. Suhu udara masuk berbanding lurus dengan laju pengeringan mikrokapsul dan kadar air akhir. Ketika udara masuk rendah, laju penguapan rendah menyebabkan pembentukan mikrokapsul dengan membran densitas tinggi, kadar air tinggi, fluiditas yang buruk, kemudahan aglomerasi. Namun, suhu udara masuk yang tinggi menyebabkan penguapan yang berlebihan dan mengakibatkan retakan pada membrane yang menyebabkan pelepasan sebelum waktunya serta terjadinya degradasi bahan yang di enkapsulasi dan volatile senyawa bioaktif. Suhu udara masuk biasanya ditentukan oleh dua faktor yaitu suhu yang digunakan aman tanpa merusak produk atau menimbulkan bahaya saat pengoperasian dan biaya operasi yang terjangkau dalam menghasilkan sumber panas. Tidak mudah dalam memprediksi suhu udara keluar pada produk tertentu karena bergantung pada karakteristik

pengeringan bahan. Suhu udara keluar tidak dapat dikontrol secara langsung karena bergantung pada suhu udara masuk udara. Suhu udara keluar yang ideal untuk mikroenkapsulasi bahan makanan yaitu 50-80°C.

## 2. Atomisasi

Atomisasi merupakan tahapan proses *spray drying* yang paling penting karena secara langsung mempengaruhi efisiensi proses dan sifat bubuk. Umpan cair diatomisasi pada ruang pengering menjadi *droplet* dengan diameter yang bervariasi dari 2 hingga 600  $\mu\text{m}$ . *Droplet* dengan ukuran yang lebih kecil menghasilkan luas permukaan yang lebih besar, sehingga efisiensi laju perpindahan panas dan massa meningkat. Jenis dasar alat penyemprot yang digunakan yaitu *rotary atomizers* (alat penyemprot putar), *pressure nozzles* (nosel tekanan) and *pneumatic nozzles* (nosel pneumatic). Penggunaan alat penyemprot tersebut tergantung pada sifat umpan cair dan persyaratan produk. Alat penyemprot yang paling umum dalam industri makanan adalah alat penyemprot roda putar dan nosel tekanan.

Alat penyemprot putar dapat diterapkan dalam kapasitas yang besar dan untuk umpan cair dengan viskositas tinggi, distribusi ukuran *droplet* kecil, kontrolnya relatif. Kekurangannya yaitu terdapat endapan pada dinding; konsumsi energi yang relatif tinggi dan perawatan yang tinggi.

Dalam nosel tekanan, cairan melewati lubang nosel ukuran 0,2 mm di bawah tekanan 1–30 MPa. Kelebihan dari nosel tekanan yaitu pengoperasiannya mudah, memiliki konsumsi energi yang lebih rendah, inklusi udara yang lebih rendah dalam partikel dan endapan dinding yang lebih rendah. Sedangkan kekurangannya yaitu kapasitasnya terbatas, keausannya cepat, nozzle rentan tersumbat, dan tidak dapat digunakan

untuk cairan dengan viskositas tinggi atau mengandung kristal. Nozel pneumatik cocok untuk produk umpan cair yang kental, dan/atau abrasif, menghasilkan partikel halus, tetapi memiliki konsumsi energi tertinggi karena biaya udara terkompresi.

Partikel yang diperoleh dengan jenis alat penyemprot tradisional dengan ukuran yang bervariasi dari 0,5 hingga 200  $\mu\text{m}$ . Dalam hal kualitas produk akhir, keseragaman pemanasan dan penguapan air dari masing-masing bahan sangat penting, terutama dalam hal bahan termolabil. Polidispersitas *droplet* yang tinggi dapat mengakibatkan panas berlebih pada partikel yang lebih kecil. Dalam kasus seperti itu, diperlukan modifikasi proses untuk mendapatkan ukuran *droplet*/partikel yang homogen. Dalam kasus bahan yang sangat termolabil, penting juga untuk mengurangi ukuran *droplet*/partikel, memungkinkan intensifikasi panas dan pertukaran massa, yang berdampak pada penurunan suhu pengeringan. Dengan demikian, jenis alat penyemprot dan parameter operasinya mempengaruhi konfigurasi ruang, kehilangan produk selama pengeringan, konsumsi energi dan sifat bubuk, dan tidak ada jenis alat penyemprot yang bersifat universal. Beberapa konfigurasi baru metode atomisasi di *spray drying* dikembangkan baru-baru ini dan akan disajikan di bagian berikutnya, termasuk yaitu: alat penyemprot putar magnetik, alat penyemprot ultrasonic, atomisasi pembakaran.

### 3. Evaporasi

Kontak droplet dengan media pengering panas dapat berlangsung dalam konfigurasi *co-current* atau *counter-current* di ruang pengering. Aliran *co-current* lebih khas dalam aplikasi makanan dan farmasi, karena suhu *droplet*/partikel mencapai maksimum suhu udara keluar. Konfigurasi *counter-current* memaksa kehadiran partikel lebih lama di ruang pengering,

sehingga kurang efektif dalam pengeringan bahan yang rentan terhadap degradasi termal, sementara itu lebih sedikit mengkonsumsi energi daripada sistem *co-current*.

Air menguap dengan sangat cepat sebagai akibat dari ekspansi yang signifikan dari permukaan pertukaran panas dan massa. Karena itu, suhu udara pengering turun dengan sangat cepat, dan suhu produk tetap rendah. Total waktu pengeringan bisa sampai beberapa detik, tetapi 80% air menguap dalam sepersekian detik. Secara umum, suhu produk yang relatif rendah dan waktu kontak yang singkat memungkinkan pengeringan produk yang sensitif terhadap panas. Suhu udara masuk pada pengering semprot konvensional berkisar antara 150 hingga 220°C, sedangkan suhu produk kering pada aplikasi makanan dapat mencapai 70–90°C. Namun, suhu serendah itu pun dapat menyebabkan kerusakan beberapa senyawa yang sangat sensitif, yaitu likopen,  $\beta$ -karoten, antosianin, vitamin C. Selain itu, bahkan pada suhu rendah seperti itu, beberapa masalah diamati ketika bahan yang mengandung gula yang tinggi sedang dikeringkan. Jus buah dan sayuran, tetes tebu dan madu sulit untuk langsung disemprot kering tanpa *carrier agent* karena sifat lengketnya disebabkan oleh suhu transisi kaca ( $T_g$ ) yang rendah dan suhu pengeringan yang lebih tinggi. Ini menyebabkan masalah pengendapan dinding dan kesulitan pengeringan. Dengan demikian, jenis *spray drying* yang tepat untuk menurunkan suhu pengeringan pada aplikasi khusus ini yaitu *spray drying* vakum, *spray drying* udara yang tidak lembab.

Temperatur transisi gelas adalah temperatur dimana keadaan produk berubah dari glassy (amorf) menjadi rubbery (lengket) melalui proses sorpsi thermal atau plasticizer. Ini adalah properti yang sangat penting untuk

produk bubuk, karena menunjukkan kualitas produk. Temperatur transisi gelas yang rendah dapat menyebabkan perubahan fisik selama pengeringan semprot, yaitu lengket, melekat dan menggumpal, di mana perubahan warna dan aroma, dan perubahan kimia lainnya dapat terjadi dan hasil proses dapat berkurang. Tiga faktor yang mempengaruhi suhu transisi gelas suatu produk: suhu, kelembaban dan komposisi produk. Transisi gelas terjadi, ketika suhu naik pada kisaran 10°C hingga 20°C di atas suhu transisi gelas produk. Untuk stabilitas terbaik, suhu pemrosesan harus di bawah suhu transisi gelas. Kadar air juga memainkan peran penting dalam mengurangi suhu transisi gelas. Air adalah pelarut dengan berat molekul terendah yang memiliki suhu transisi gelas -135°C. Meskipun sebagian besar produk serbuk memiliki kadar air kurang dari 5%, peningkatan kecil kadar air (misalnya 1%) dapat menurunkan suhu transisi kaca secara dramatis.

#### 4. Pemisahan Bubuk

Tahap akhir *spray drying* adalah pemisahan serbuk yang diperoleh dari media pengering. Untuk tujuan ini, siklon dan bag filter diterapkan secara luas di industri farmasi dan makanan sebagai sistem pengumpulan. Efisiensi siklon turun secara signifikan untuk ukuran partikel <15 µm, sedangkan bag filter tidak efisien untuk <2 µm. Selain itu, bubuk yang dihasilkan biasanya mengandung partikel dengan ukuran berbeda, dan pemisah konvensional ini tidak dapat memisahkan partikel halus, atau membaginya berdasarkan ukuran partikel.

## DESAIN PERALATAN

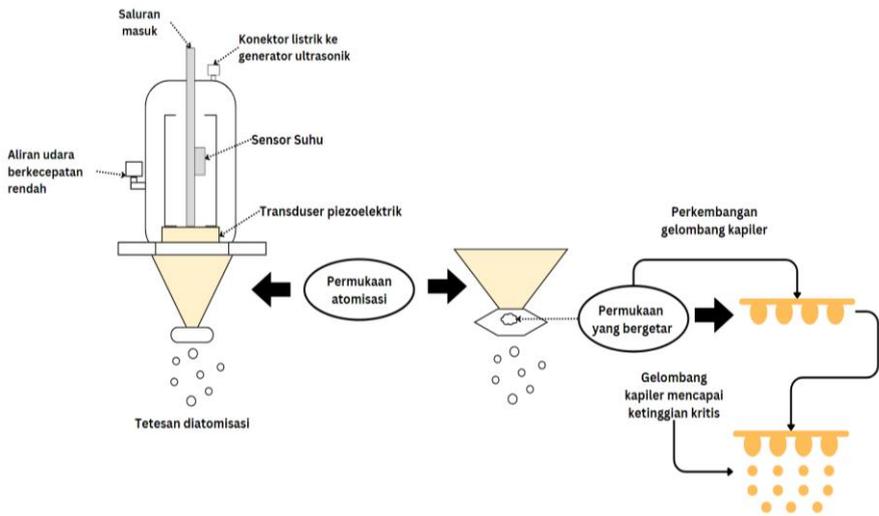
*Spray drying* merupakan metode pengeringan yang diterapkan pada industri makanan dan farmasi karena sifat fisik produk yang baik, waktu pengeringan yang singkat, dan potensi ekonomi untuk peningkatan kapasitas produksi. Namun, jenis nozel konvensional *spray drying* yaitu nozel tekanan, putar, dan dua fluida diterapkan untuk mengatomisasi aliran cairan tergantung pada preferensi produk akhir. Kelemahan dari atomisasi konvensional adalah kontrol yang terbatas pada ukuran *droplets*, distribusi ukuran dan kecepatan, distribusi ukuran partikel yang luas, konsumsi energi listrik yang tinggi dan kemungkinan penyumbatan pada lubang nozel jika terjadi suspensi atau pengotor apapun dalam aliran cairan. Selanjutnya, atomisasi konvensional ini dapat menyebabkan pemisahan sebagian senyawa dalam campuran permukaan partikel selama konversi energi operasional (tekanan atau sentrifugal) menjadi energi kinetik. Selain itu, *spray drying* dilakukan pada suhu tinggi (150-220°C), yang menyebabkan hilangnya atau penurunan nutrisi yang sensitif terhadap panas (yaitu antosianin, karotenoid, flavonol, vitamin C). Teknik *spray drying* untuk mengatasi hal ini yaitu dengan metode pengeringan semprot dibantu ultrasound (*ultrasound assisted spray drying*), pengeringan semprot vakum (*vacuum spray drying*), pengeringan semprot vakum dibantu ultrasound (*ultrasound assisted vacuum spray drying*), dan pengeringan semprot udara dehumidifikasi (*dehumidified air spray drying*).

### ***Ultrasound assisted spray drying***

Dalam pengeringan semprot berbantuan ultrasound, teknik *nozzle* ultrasonic salah satu metode alternatif yang lebih baik untuk mengatasi kelemahan dari proses atomisasi konvensional (atau menggunakan nosel tekanan, putar, dan dua fluida). Nosel berbantuan ultrasonik adalah jenis nosel semprot khusus yang terdiri dari transduser piezoelektrik dengan ujung pengembangan semprotan, generator ultrasonik, aplikator cairan eksternal, sistem distribusi cairan presisi, dan pengatur udara. Transduser piezoelektrik beresonansi pada frekuensi ultrasonik tertentu 35, 45 atau 60 kHz dan digerakkan oleh generator ultrasonik dengan frekuensi yang sesuai. Ini mengubah sinyal listrik menjadi getaran mekanis. Dalam atomisasi ultrasonik, gelombang atau getaran suara frekuensi tinggi dihasilkan oleh transduser piezoelektrik selama atomisasi cairan. Energi getaran diterapkan pada permukaan atomisasi menyebar di permukaan dan lapisan tipis cair. Ketika energi getaran diserap oleh lapisan tipis cair, itu maka terbentuk gelombang kapiler. Setelah amplitudo gelombang kapiler mencapai ketinggian kritis maka mengakibatkan pecahnya gelombang kapiler dengan menghasilkan *droplets*/tetesan kecil cairan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-6.

Faktor utama yang mempengaruhi ukuran *droplet* awal adalah tegangan permukaan, frekuensi getaran, dan viskositas umpan. Frekuensi biasanya berkisar antara 20 hingga 180 kHz, di atas batas persepsi manusia; frekuensi yang lebih besar menghasilkan *droplet* yang lebih kecil. Oleh karena itu, atomisasi ultrasonik dengan menggunakan getaran mekanis mempunyai keunggulan menghasilkan *droplet* lebih kecil, lebih seragam dan lebih bulat,

distribusi ukuran *droplet* yang baik. Alat penyemprot ultrasonik membutuhkan energi getaran yang rendah sehingga dapat mengatasi kelemahan nosel atomisasi konvensional. Tegangan mekanik yang dihasilkan oleh energi getaran relatif kecil, yang tidak merusak senyawa bioaktif. Nosel ultrasonik juga menunjukkan kesesuaian yang lebih baik dalam memproses laju aliran rendah dengan tepat.



Gambar 4-6. Diagram skema atomisasi ultrasonik dalam pengeringan semprot. (Sumber: Gambar ulang dari Shishir and Chen, 2017)

Pengeringan semprot berbantuan ultrasonik adalah teknik inovatif untuk produksi partikel halus. Berikut ini terdapat 3 tahapan proses Pengeringan semprot berbantuan ultrasonik :

1. Sistem atomisasi: terdiri dari aktuator piezoelektrik yang digerakkan pada frekuensi ultrasonik (60 kHz) menghasilkan *droplet* cairan halus dengan ukuran seragam.

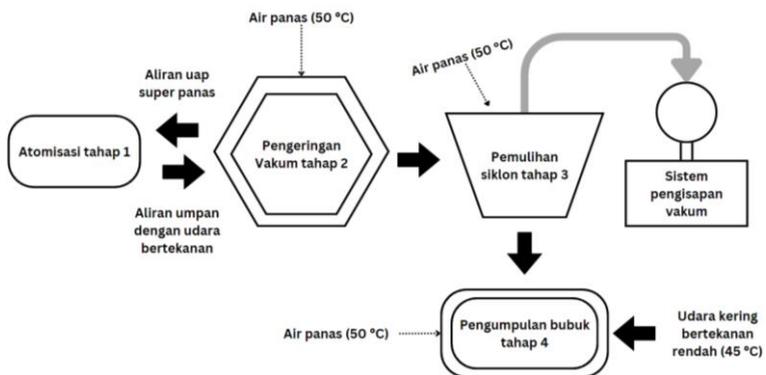
2. Ruang pengering: terdiri dari tiang kaca kering dengan aliran udara laminar yang mengarahkan dehidrasi cepat *droplet* ke dalam mikrosfer dehidrasi menggunakan unit pengering moderat.
3. Pengumpul partikel elektrostatik: terdiri dari elektroda bintang (katoda) dan elektroda pengumpul partikel tubular (anoda) dengan tegangan tinggi yang menghasilkan pengendapan elektrostatik partikel pada permukaan elektroda tubular.

### ***Vacuum spray drying***

Pengeringan semprot vakum menggabungkan pengeringan vakum dan pengeringan semprot. Dalam sistem pengeringan ini, makanan cair diubah menjadi mikrosfer pada suhu pengeringan rendah menggunakan *superheated steam* sebagai sumber panas. Suhu penguapan adalah suhu saturasi tergantung pada tingkat vakum. Karena pengeringan dilakukan di bawah tekanan vakum, suhu pengeringan dapat dikontrol pada suhu rendah (40-60°C), yang mempunyai keunggulan untuk menghindari kerusakan atau hilangnya nutrisi yang sensitif terhadap panas. Sistem pengeringan semprot vakum terdiri dari empat tahap, yaitu atomisasi, pengeringan vakum, pemulihan siklon, dan pengumpulan bubuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4-7. Berikut ini tahapan proses pengeringan semprot vakum:

1. Atomisasi: Umpan diatomisasi ke pengeringan vakum ruang dengan aliran naik. Nosel semprot menggunakan udara terkompresi selama atomisasi untuk menghasilkan *droplet* yang lebih kecil (10-50 µm). Pada saat yang sama, uap panas lewat jenuh (*superheated steam*) pada suhu 200°C disuplai melalui nozel uap yang lain ke ruang pengering.

2. Pengeringan vakum: Di ruang pengering, setelah *droplet* yang diatomisasi kontak dengan *superheated steam* maka terjadi pertukaran panas. Panas laten yang dibutuhkan untuk menguapkan *droplet* air, dialirkan oleh sumber panas (*superheated steam*). Selain itu, *superheated steam* memiliki kemampuan termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara panas, yang lebih efisien untuk menghantarkan panas yang dibutuhkan. Namun rata-rata *droplet* tidak langsung kering sempurna, karena *droplet* tidak mencapai temperatur uap jenuh (*saturated steam*) yaitu 40°C dalam kondisi vakum. Oleh karena itu, ruang dehidrasi di dekompresi oleh pompa vakum, dan suhu penutup evaporator dikontrol pada 50°C dengan suplai air panas, yang mengarah ke penguapan air *droplet* dan menghasilkan partikel bubuk.
3. Pemulihan siklon: Partikel bubuk kering dipisahkan oleh siklon dari udara lembab. Pada umumnya, bubuk diterima dalam siklon. Untuk menghindari pengendapan dinding di dalam siklon, penutup evaporator dipertahankan pada suhu 50°C dengan air panas.

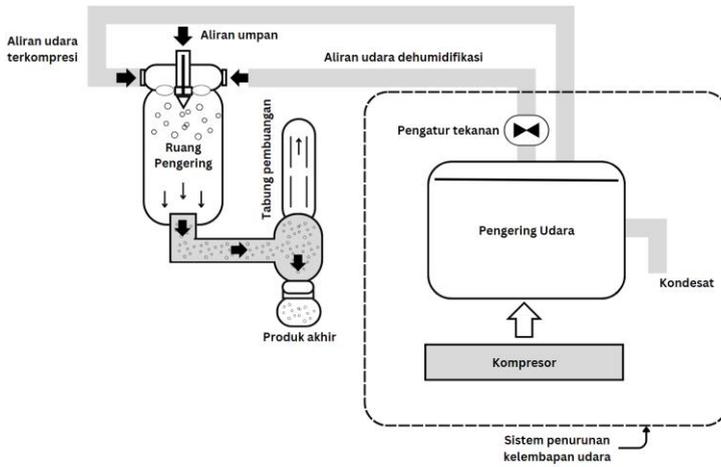


Gambar 4-7. Diagram alir proses dari proses pengeringan semprot vakum.  
(Sumber : Gambar ulang dari Shishir and Chen, 2017)

4. Pengumpulan bubuk: Pengumpulan bubuk partikel kering dalam tempat penyimpanan. Udara kering bertekanan rendah diterapkan untuk mendapatkan partikel bubuk dalam penyimpanan bubuk pada suhu 45°C. Air panas juga disuplai melalui jaket evaporator yang dijaga pada suhu 50°C untuk menghindari hilangnya pengendapan dinding pada tempat penyimpanan bubuk.

#### ***Dehumidified air spray drying***

Pengering semprot udara yang di dehumidifikasi adalah pengering semprot yang dimodifikasi, yang terdiri dari pengering semprot konvensional yang terhubung ke sistem pengeringan udara yang di dehumidifikasi oleh saluran udara yang elastis. Udara yang dikeringkan disuplai ke ruang pengering melalui saluran masuk udara pengeringan semprot. Udara terkompresi juga dihilangkan kelembabannya sebelum disuplai ke nosel. Tahap pengeringan lainnya mirip dengan pengeringan semprot konvensional. Skema diagram proses ditunjukkan pada Gambar 4-8. Sistem pengeringan semprot udara yang di dehumidifikasi memiliki kinerja yang lebih baik daripada pengeringan semprot konvensional dalam mengurangi masalah lengket pada ruang pengering dan memperbaiki pembaruan bubuk. Metode pengeringan ini menghasilkan kadar air yang lebih rendah dan densitas produk bubuk yang lebih tinggi daripada pengeringan semprot konvensional. Selain itu, mengurangi suhu outlet dan menurunkan kelembaban udara pengering yang mengarah ke permukaan halus dari partikel yang dihasilkan. Dalam sistem pengeringan ini, suhu keluaran yang lebih rendah dan kelembaban yang lebih rendah juga dapat membantu mengurangi kehilangan panas atau oksidatif senyawa sensitif.



Gambar 4-8. Penggambaran skematis dari sistem pengeringan semprotan udara yang dikeringkan.  
 (Sumber: Gambar ulang dari Shishir and Chen, 2017)

## APLIKASI

*Nano spray dryer* telah digunakan dalam industri makanan untuk enkapsulasi bahan dengan karakteristik menjaga senyawa bioaktif dan nutrisi, serta untuk mengeringkan bahan. Pemilihan bahan dinding (*wall material* atau *carrier agent*) yang tepat untuk enkapsulasi sangat penting untuk mencapai efisiensi enkapsulasi dan stabilitas partikel yang tinggi. Namun, perlu mempertimbangkan beberapa bahan yang dapat membantu dispersi atau kelarutan bahan tersebut, seperti minyak, surfaktan atau biopolimer. Selain itu, viskositas, tingkat padatan, dan higroskopisitas merupakan karakteristik yang harus diperhatikan saat memilih bahan dinding. *Nano spray dryer* telah digunakan untuk mengeringkan bahan dan biopolimer, tetapi juga molekul aktif lainnya tanpa menggunakan bahan dinding.

Penggunaan *Nano spray dryer* untuk enkapsulasi bahan makanan dapat membutuhkan langkah perantara, setelah campuran bahan dan sebelum langkah pengeringan semprot. Hal ini terkait dengan jenis senyawa bioaktif yang dapat dipengaruhi oleh kepolaran pelarut dan material dinding yang digunakan. Langkah perantara ini dapat membantu meningkatkan efisiensi enkapsulasi dan kapasitas pemuatan serta sifat akhir dari produk kering. Oleh karena itu, bertujuan untuk mengembangkan struktur yang mampu meng enkapsulasi bahan makanan dalam jumlah yang lebih tinggi, larutan umpan dapat berupa dispersi minyak dalam air (misalnya nanoemulsi dan nanopartikel *lipid* padat) tetapi juga nanopartikel yang diproduksi sebelumnya seperti nano kompleks atau nanogel.

## KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Di era modernisasi banyak bahan makanan yang diproduksi dalam bentuk mikro dan nanokapsul yang di enkapsulasi untuk pengawetan. Metode yang paling umum untuk mendapatkan bentuk bubuk dengan *spray drying*. Dalam metode sederhana ini, bahan umpan cair diatomisasi di dalam ruang pengering, di mana air menguap karena kontak dengan udara panas. Selanjutnya, partikel kering dipisahkan dari udara dan bubuk disimpan. Waktu kontak antara bahan kering dan udara panas sangat singkat (beberapa detik), yang memungkinkan untuk mendehidrasi bahan termosensitif. Alasan tambahan untuk kemungkinan mengeringkan dan membungkus bahan yang labil terhadap panas dengan metode ini adalah efek pendinginan dari penguapan yang sangat cepat.

Pada aliran co-current, ketika udara pengering mengalir dengan arah yang sama dengan droplet/partikel, yang banyak digunakan untuk bahan makanan, temperatur droplet/partikel tidak melebihi temperatur udara keluar, yang biasanya pada suhu 70–90°C; sedangkan suhu udara masuk berkisar antara 150 hingga 200°C untuk pengering semprot konvensional.

Selain itu, beberapa senyawa lebih tahan terhadap degradasi panas pada kondisi kadar air rendah dan sangat cepat stabil selama penguapan cepat. Dengan demikian, pengeringan semprot berhasil diterapkan untuk enkapsulasi bahan makanan dalam skala komersial, termasuk senyawa termosensitif. Namun, komposisi dan sifat emulsi/larutan umpan, serta parameter pengeringan harus dioptimalkan untuk setiap bahan secara individual, untuk mendapatkan karakteristik serbuk yang optimal: sifat fisik, efisiensi enkapsulasi, serta kerentanan pelepasan yang sesuai. Salah satu

sifat yang paling penting dari bahan bubuk adalah ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel.

Ukuran dan distribusi ukuran partikel yang dihasilkan oleh atomizers sentrifugal, tekanan, dan pneumatik konvensional bergantung pada banyak faktor seperti sifat umpan dan kondisi operasional atomizers ini, dan kisaran ukuran partikel tipikal dalam kasus ini adalah dari beberapa  $\mu\text{m}$  hingga beberapa ratus  $\mu\text{m}$ . Salah satu tantangan terpenting juga adalah terbatasnya hasil pengeringan produk dalam pengering semprot laboratorium tradisional yang biasanya sekitar 50%–70%, tergantung pada efisiensi pemisahan partikel (misalnya dalam siklon) dan kecenderungan untuk membangun deposisi produk di dinding ruang semprot. Sebagai akibat dari kekurangan yang disebutkan di atas, saat ini beberapa opsi inovatif sedang dipertimbangkan sehubungan dengan desain proses pengeringan semprot, termasuk persiapan bahan umpan, penyesuaian pengolahan udara, penataan ulang atomisasi, dan langkah pengumpulan bubuk.

## REFERENSI

1. Arpagaus, C., & Meuri, M. (2010). Laboratory scale spray drying of inhalable particles: A review. *Respir. Drug Deliv.*, 469–476.
2. Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2019). Advances in spray-drying encapsulation of food bioactive ingredients: From microcapsules to nanocapsules. *Annual review of food science and technology*, 10(1), 103–131.
3. Baranska, A., Jedlińska, A., Samborska, K., 2021. Dehumidified-air-assisted spray drying of buckwheat honey with maltodextrin and skim milk powder as carriers. *Appl. Sci.* 11 (7).
4. Bellinghausen, R., 2019. Spray drying from yesterday to tomorrow: an industrial perspective. *Dry. Technol.* 37 (5), 612–622. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1517778>.
5. Cheng, F., Zhou, X., Liu, Y., Weerasinghe, R., 2018. Methods for improvement of the thermal efficiency during spray drying. *E3S Web Conf.* 53 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185301031>
6. Cheow, W. S., Li, S., & Hadinoto, K. (2010). Spray drying formulation of hollow spherical aggregates of silica nanoparticles by experimental design. *Chemical Engineering Research and Design*, 88(5–6), 673–685.
7. Dalmoro, A., Barba, A. A., Lamberti, G., and Amore, M. 2012. Intensifying the micro- encapsulation process: Ultrasonic atomization as an innovative approach. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 80:471–7
8. Edris, A.E., Kalemba, D., Adamiec, J., Piątkowski, M., 2016. Microencapsulation of *Nigella sativa* oleoresin by spray drying for food and nutraceutical applications. *Food Chem.* 204, 326–333.

9. Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L., & Alves, A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications - A review. *Trends in Food Science and Technology*, 31(2), 138–155. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.04.001>
10. Fazaeli, M., Emam-djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Food and Bioproducts Processing Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>
11. Filkova, I., Huang, L.X., Mujumdar, A.S., 2014. Industrial Spray Drying Systems, in: Mujumdar, A.S. (Ed.), *Handbook of Industrial Drying*. pp. 215–256.
12. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., et al., 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Res. Int.* 40 (9), 1107–1121.
13. Hazlett, R., Schmidmeier, C., O'Mahony, J.A., 2021. Approaches for improving the flowability of high-protein dairy powders post spray drying – a review. *Powder Technol.* 388, 26–40. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.021>.
14. Jafari, S. M., Arpagaus, C., Cerqueira, M. A., & Samborska, K. (2021). Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 632–646. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.061>
15. Khaire, R.A and Gogate, P. R. (2021). Novel approaches based on ultrasound for spray drying of food and bioactive compounds. *Drying*

Technology, 39(12), 1832-1853.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1804926>

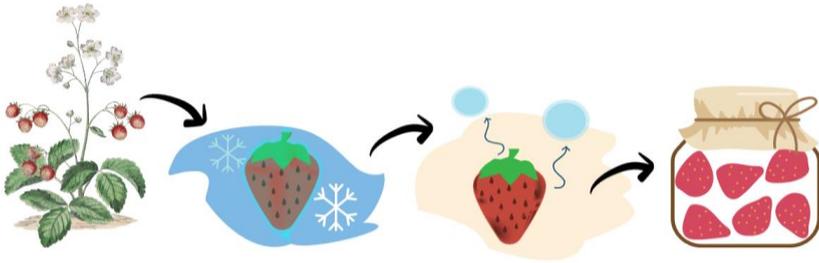
16. Lee, S. H., Heng, D., Ng, W. K., Chan, H.-K., & Tan, R. B. H. (2011). Nano spray drying: A novel method for preparing protein nanoparticles for protein therapy. *International Journal of Pharmaceutics*, 403(1), 192–200.
17. Liu, X-D., Atarashi, T., Furuta, T., Yoshii, H., Aishima, S., Ohkawara, M., et al. (2001). Microencapsulation of emulsified hydrophobic flavours by spray drying. *Drying Technology*, 19, 1361–1374.
18. Liu, Z., Zhou, J., Zeng, Y., & Ouyang, X. (2004). The enhancement and encapsulation of *Agaricus bisporus* flavor. *Journal of Food Engineering*, 65, 391–396.
19. Mahdavi, S.A., Jafari, S.M., Ghorbani, M., Assadpoor, E., 2014. Spray-drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: a review. *Dry. Technol.* 32 (5), 509–518.
20. Maury, M., Murphy, K., Kumar, S., Shi, L., & Lee, G. (2005). Effects of process variables on the powder yield of spray-dried trehalose on a laboratory spray-dryer. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 59(3), 565–573.
21. Miller, D.A., Ellenberger, D., Gil, M., 2016. Spray-drying technology. In: *Formulating Poorly Water Soluble Drugs*. Springer, pp. 437–525.
22. O’Sullivan, J. J., Norwood, E. A., O’Mahony, J. A., & Kelly, A. L. (2019). Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review. *Journal of Food Engineering*, 243, 57–69.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.027>

23. Oliveira, A., Guimarães, K., Cerize, N., Tunussi, A., & Poco, J. (2013). Nano spray drying as an innovative technology for encapsulating hydrophilic active pharmaceutical ingredients (API). *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology*, 4.
24. Poozesh, S., Bilgili, E., 2019. Scale-up of pharmaceutical spray drying using scale-up rules: a review. *Int. J. Pharm.* 562, 271–292.
25. Poozesh, S., Karam, M., Akafuah, N., Wang, Y., 2021. Integrating a model predictive control into a spray dryer simulator for a closed-loop control strategy. *Int. J. Heat Mass Tran.* 170, 121010.
26. Sadashiv Mujumdar, A., Ramli Wan Daud, W., Wai Woo, M., Xin Huang, L., & Laura Passos, M. (2010). *Spray Drying Technology*.
27. Samborska, K., Poozesh, S., Barańska, A., Sobulska, M., Jedlińska, A., Arpagaus, C., Malekjani, N., & Jafari, S. M. (2022). Innovations in spray drying process for food and pharma industries. *Journal of Food Engineering*, 321(January).  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.110960>
28. Samborska, K., Wiktor, A., Jedlinska, A., Matwijczuk, A., Jamroz, W., Skwarczynska- Maj, K., Kielczewski, D., Tulodziecki, M., Blazowski, L., & Witrowa-Rajchert, D. (2019). Development and characterization of physical properties of honey-rich powder. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 78–86.
29. Samborska, K., Witrowa-Rajchert, D., & Gonçalves, A. (2005). Spray-drying of  $\alpha$ -amylase—the effect of process variables on the enzyme inactivation. *Drying Technology*, 23(4), 941–953.
30. Santivarangkna, C., Kulozik, U., & Foerst, P. (2007). Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures.

Biotechnology Progress, 23(2), 302–315.  
<https://doi.org/10.1021/bp060268f>

31. Schmid, K., Arpagaus, C., & Friess, W. (2009). Evaluation of a vibrating mesh spray dryer for preparation of submicron particles. *Respir. Drug Deliv.*, 323–326.
32. Schmid, K., Arpagaus, C., & Friess, W. (2011). Evaluation of the nano spray dryer B-90 for pharmaceutical applications. *Pharmaceutical Development and Technology*, 16, 287–294.
33. Semyonov, D., Ramon, O., Shimoni, E., 2011. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. *LWT-Food Sci. Technol.* 44 (9), 1844–1852
34. Sham, J. O.-H., Zhang, Y., Finlay, W. H., Roa, W. H., & L'obenberg, R. (2004). Formulation and characterization of spray-dried powders containing nanoparticles for aerosol delivery to the lung. *International Journal of Pharmaceutics*, 269(2), 457–467.
35. Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>

## PENGERING BEKU (FREEZE DRYER)



Gambar 5-1. Ilustrasi Prinsip Pengeringan Beku  
(Sumber: Ilustrasi Penulis)

Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang unggul dalam hal kemampuannya mempertahankan mutu produk hasil pengeringan, lebih khusus pada bahan biologis yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap panas. Pengeringan beku juga mampu menghasilkan produk kering dengan berat seperempat berat aslinya, memiliki umur simpan yang lama tanpa harus disimpan dalam ruang pendingin dengan tetap mempertahankan bentuk, warna, dan kandungan zat gizinya. Metode pengeringan beku juga dikenal dengan berbagai istilah seperti metode *lyophilisation*, *lyophilization* maupun *cryodesiccation*. Berbagai istilah tersebut digunakan secara bergantian tergantung pada industri dan lokasi di mana pengeringan berlangsung.

Tidak seperti umumnya peralatan pengering yang lain, yaitu bekerja di suhu diatas suhu lingkungan. Namun *freeze dryer* bekerja dengan mengkondisikan bahan dalam ruang bersuhu dan tekanan sangat rendah sehingga bahan menjadi beku. Setelah itu suhu dinaikkan secara terkendali sehingga terjadi proses sublimasi (perubahan fase dari padat (es) menjadi

uap). Selanjutnya uap air disedot keluar. Proses sublimasi membuat air meninggalkan bahan. Meskipun demikian, produk masih memiliki volume yang tidak terlalu berubah dengan atribut sensori dan kandungan zat gizi yang tetap bisa dipertahankan (lihat Gambar 5-1).

Konsep pengeringan beku sudah ada sejak lama. Sejak tahun 1400 an, masyarakat Inca kuno telah mulai membekukan kentang di dataran tinggi. Selanjutnya, pada tahun 1906 proses pengeringan beku ditemukan oleh Jacques Arsene d'Arsonval di College de France, Paris dan pada tahun 1940 an selama Perang Dunia II. Pada saat itu proses pengeringan beku diterapkan secara luas untuk mempertahankan kualitas plasma darah. Pengawetan plasma darah dibutuhkan untuk keperluan darurat saat terjadi perang. Selain itu, pada tahun 1950-an, pengeringan beku juga mulai diaplikasikan oleh NASA untuk membuat makanan para astronot. Selanjutnya, pada tahun 1970an, tentara Amerika menerapkan metode pengeringan beku untuk persediaan makanan para tentara mereka. Aplikasi pengering beku di bidang pangan terus berlanjut hingga pada tahun 1980an. Beberapa perusahaan mulai menggunakan pengering beku untuk pengeringan pangan secara komersial. Pengeringan beku merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan di Eropa dan menyebar secara global pada abad ke-20 hingga pada tahun 2013 Harvest Right mengembangkan *freeze dryer* skala rumah tangga.

Meningkatnya permintaan produk makanan yang berorientasi pada kesehatan juga mendorong permintaan buah dan sayuran beku-kering. Selain itu, peningkatan umur simpan buah dan sayuran beku-kering dengan tekstur, kandungan zat gizi, warna, dan rasa yang mampu dipertahankan

menyebabkan peningkatan produk pangan kering beku. Buah dan sayuran beku yang mengalami dehidrasi dapat direhidrasi kembali dan digunakan dalam berbagai resep. Berdasarkan data dari expert market research, pada tahun 2021, pasar buah dan sayuran beku-kering global mencapai nilai sekitar USD 180,3 juta. Pasar makanan beku-kering global terus tumbuh dan menurut <https://www.globenewswire.com/> diperkirakan akan mencapai \$106,6 miliar pada tahun 2028. Buah-buahan merupakan bagian terbesar dari pasar makanan beku-kering global.

Berdasarkan *Market Analysis Report* yang dilakukan oleh Grand View Research, segmen pasar buah beku di US diproyeksikan mencatat pertumbuhan tercepat selama periode perkiraan (2022 hingga 2030) dengan *Compounded Annual Growth Rate* (CAGR) sebesar 9,7%. Selain itu, segmen sayuran juga memegang pangsa pendapatan terbesar, yakni 34,3% pada tahun 2021 dan diperkirakan akan mempertahankan dominasinya hingga 2030. Asia Pasifik menyumbang pangsa terbesar pasar makanan beku-kering global pada tahun 2021. Meningkatnya minat konsumen Asia terhadap produk sehat yang diformulasikan dengan bahan-bahan inovatif juga mendukung pertumbuhan tersebut. Selain itu, adopsi sayuran beku-kering dengan umur simpan yang lebih lama dan adanya kemungkinan kekurangan sayuran segar sepanjang tahun juga akan mendorong pertumbuhan segmen ini terus meningkat.

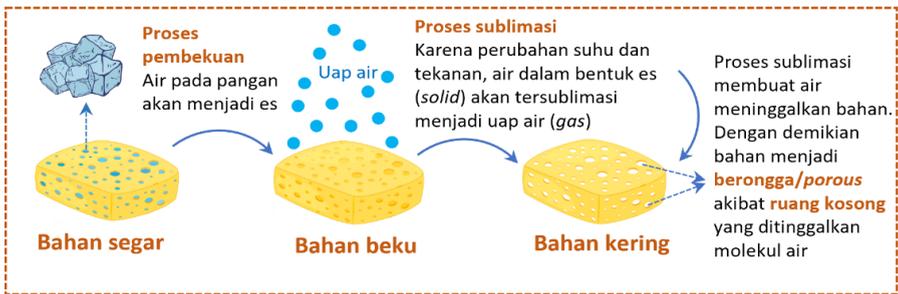


Gambar 5-2. Berbagai Produk Buah Kering Beku Dan Keunggulannya  
(Sumber: *greenhouseemporium.com*)

Hingga saat ini pengeringan dengan *freeze dryer* telah berhasil diterapkan pada berbagai bahan biologis, seperti daging, kopi, jus, produk susu, sel, dan bakteri, dan merupakan praktik standar untuk penisilin, hormon, darah plasma, persiapan vitamin, dll. Disamping banyak kelebihanannya (lihat Gambar 5-2), namun *freeze dryer* memiliki kekurangan dari segi biaya investasi dan pengoperasian. *Freeze dryer* membutuhkan energi empat sampai sepuluh kali lebih banyak dibanding pengeringan udara panas biasa. Meskipun biaya prosesnya mahal dan waktu pengeringannya lama, produsen tetap menggunakan proses pengeringan beku karena pertimbangan mutu produk.

## PRINSIP KERJA

Pengeringan beku (*freeze drying*) atau *lyophilization* merupakan salah satu teknik pengeringan dimana pelarut dan/atau medium suspensi dikristalkan pada temperatur rendah dan kemudian disublimasi sehingga fase padat akan bergeser kesetimbangan menjadi fase uap tanpa mengalami fase cair. Waktu pengeringan beku berlangsung selama 5-24 jam, tergantung dari karakteristik bahan yang akan dikeringkan, variabel proses pengeringan dan jenis peralatan pengering yang digunakan. Secara sederhana, mekanisme terjadinya pengeringan beku dapat dilihat pada Gambar 5-3.



Gambar 5-3. Skema ilustratif mekanisme terjadinya pengeringan beku  
(Sumber: Asiah and Djaeni, 2021)

Terdapat beberapa tahapan utama pada proses pengeringan beku, diantaranya:

### 1. Penanganan Pendahuluan

Penanganan pendahuluan sebelum proses pengeringan beku diperlukan untuk meningkatkan mutu produk. Penanganan pendahuluan produk dapat berupa pemekatan, formulasi (penambahan *cryoprotectant*), atau peningkatan luas area permukaan bahan. Beberapa bahan pangan perlu di “masak” terlebih dahulu, sebelum dikering beku; beberapa buah & sayuran perlu dicuci dengan air bersih. Jenis penanganan pendahuluan disesuaikan dengan karakteristik bahan yang akan dikeringkan dan tujuan penggunaan produk akhir yang diharapkan.

### 2. Pembekuan

Tahap fase pembekuan adalah yang paling kritis dalam seluruh proses pengeringan beku. Bahan padat (buah dan sayuran) maupun bahan cair (kopi dan jus) harus dibekukan sebelum dikeringkan dengan pengering beku. Pertama kandungan air bebas dalam bahan pangan dibekukan dalam suhu lingkungan yang sangat rendah. Proses pembekuan pangan harus dilakukan

dengan cepat untuk menghindari pembentukan kristal es besar, yang bisa memperburuk mutu produk akhir. Pembekuan cepat berlangsung pada suhu sekitar  $-40^{\circ}\text{C}$ , sehingga waktu pembekuan terjadi dengan cepat. Sebaliknya, pembekuan lambat berlangsung pada suhu diatas  $-24^{\circ}\text{C}$ , sehingga memerlukan waktu pembekuan yang lebih lama. Proses pembekuan berlangsung pada suhu dan tekanan yang sangat rendah (sekitar 0,036 psi atau sekitar 0,0025 bar), pada kondisi ini bahan akan membeku.

Laju pembekuan sangat penting dalam proses pengeringan beku, dimana kinetika nukleasi es dan pertumbuhan kristal menentukan keadaan fisik dan morfologi lapisan bahan beku dan, sebagai hasilnya juga akan berpengaruh terhadap sifat-sifat produk kering-beku. Lebih lanjut, morfologi es juga berkorelasi langsung dengan laju sublimasi baik pada pengeringan primer maupun sekunder.

Untuk mengoptimalkan proses pembekuan bahan cair, ukuran kristal es harus cukup besar untuk mendapatkan waktu pengeringan primer terpendek. Pembentukan banyak kristal es kecil selama proses pembekuan menyebabkan resistensi yang tinggi terhadap perpindahan massa dalam produk kering, sedangkan pembentukan beberapa kristal es besar menyebabkan resistensi yang lebih kecil. Sedangkan untuk mengintensifkan periode pengeringan sekunder, ukuran kristal es perlu lebih kecil untuk memberikan luas permukaan spesifik yang besar pada matriks kering. Akibatnya, desorpsi air non-beku dari pori-pori pada permukaan matriks amorf berlangsung lebih cepat. Oleh karena itu, metode pembekuan harus ditentukan setelah menganalisis proses pengeringan primer dan sekunder.

Jika pengeringan sekunder memakan waktu lama, dapat dipercepat dengan mengubah kondisi pembekuan untuk mendapatkan banyak kristal es kecil.

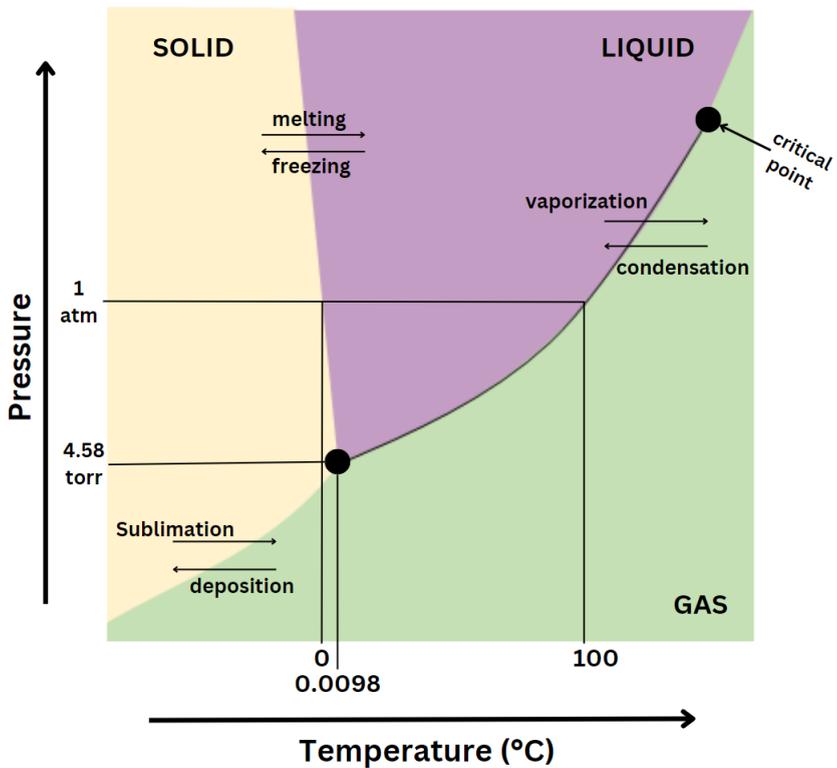
Manfaat tambahan yang dihasilkan dari konversi air menjadi es dalam bahan sebelum pengeringan beku adalah sebagai berikut: (1) mencegah terjadinya buih selama pengurangan tekanan di ruang pengering beku; (2) meminimalisir perubahan kimia, biokimia, dan mikrobiologi yang terjadi pada bahan; (3) membuat struktur kristal es tertentu dalam produk beku, yang, pada langkah berikutnya, memfasilitasi atau membatasi migrasi uap air dari bahan kering; struktur es yang terbentuk selama pembekuan menentukan intensitas pergerakan massa dan, sebagai hasilnya, membentuk morfologi akhir bahan kering; (4) penguatan struktur, mencegah kontraksi sel-sel jaringan tumbuhan atau hewan yang disebabkan oleh berkurangnya air dari bahan, yang dimungkinkan karena plastisitas bahan oleh air dalam fasa cair.

Pada prakteknya, proses pembekuan dilakukan dengan meletakkan produk pangan pada rak-rak (nampan) yang terbuat dari metal. Khusus untuk produk yang telah mengalami pendinginan atau pembekuan sebelumnya, maka rak – rak tersebut sebaiknya didinginkan terlebih dulu agar tidak terjadi pelelehan (*thawing*) pada produk.

### **3. Fase pengeringan primer,**

Fase pengeringan primer/awal ini mampu mengurangi sekitar 95% kadar air dalam bahan pangan. Tahapan ini dapat berlangsung selama beberapa jam. Pada fase pengeringan primer, kristal es yang ada di dalam bahan akan diubah secara langsung menjadi uap dalam kondisi tekanan

vakum (biasanya tekanan ruangan sublimasi dipertahankan sekitar 0.036 psi atau sekitar 0.0025 bar) dan suhu kemudian dinaikkan secara terkontrol sampai mencapai sekitar 100°F (38°C) sehingga terjadi proses sublimasi. Sublimasi adalah ketika padatan (es) berubah langsung menjadi uap tanpa terlebih dahulu melalui fase cair (air). Pengeringan beku umumnya diaplikasikan pada bahan dengan pelarut berupa air, sehingga diagram fase untuk proses terjadinya sublimasi mengacu pada diagram fase air.



Gambar 5-4. Grafik Kesetimbangan Fase Air  
(Sumber: Gambar ulang dari Barley, 2021)

Dari Gambar 5-4. dapat kita lihat bahwa dengan mengendalikan kondisi tekanan (P) dan suhu (T) maka air berada dalam fasa gas (uap), cair (air) atau padatan (es). Selain itu, pada kondisi tertentu, yaitu saat tekanan 4,58 torr (610,5 Pa) dan suhu 0°C, air akan berada pada kondisi kesetimbangan antara uap, air dan es yang disebut sebagai titik tripel.

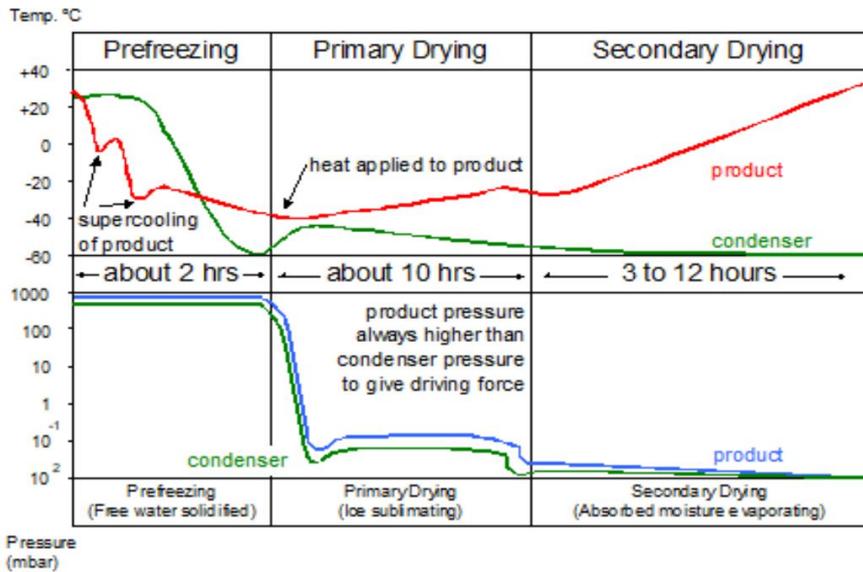
Jika air dalam fase padat atau beku pada tekanan yang dipertahankan tetap dibawah tekanan triple ( $P_t=4,58$  torr), dan kemudian suhu produk dinaikkan maka yang terjadi adalah peristiwa sublimasi. Jika proses sublimasi terus dipertahankan, maka air dalam bahan pangan yang berbentuk es secara kontinyu akan berkurang melalui proses sublimasi. Mekanisme ini berbeda dengan proses pengeringan biasa; dimana pengeringan biasa terjadi melalui mekanisme penguapan (evaporasi) yang biasanya terjadi pada suhu tinggi.

Tahapan sublimasi menyumbang sekitar 45% dari total konsumsi energi untuk proses sedangkan penerapan vakum dan kondensasi masing-masing mewakili sekitar 25% dari konsumsi energi total.

#### **4. Fase Pengeringan Sekunder / *Isothermal Desorbtion***

Fase pengeringan sekunder akan masuk saat bahan berada diatas titik eutektik. Pada titik suhu *eutectic* sebagian air sudah membeku yang mengakibatkan zat terlarut mengalami kondisi lewat jenuh dan mulai membentuk kristal. Saat terjadi kristalisasi zat terlarut, terjadi pelepasan panas laten (perubahan wujud yang berlangsung pada suhu konstan). Pada fase ini tekanan masih dipertahankan namun suhu mulai dinaikkan sebesar 10-40 °C selama beberapa jam (lihat Gambar 5-5).

Pada tahap ini air terikat akan dilepaskan. Selanjutnya uap air yang dihasilkan dari proses sublimasi air dalam bahan pangan kemudian disedot dan dikondensasikan sehingga tidak membasahi produk yang sedang dikeringkan.



Gambar 5-5. Grafik Contoh Profil Pengeringan Beku (Sumber: elab.com)

## 5. Penanganan Lanjut

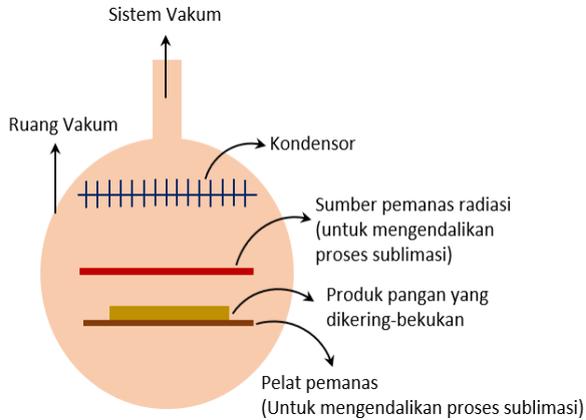
Penanganan setelah pengeringan sekunder diperlukan sesuai dengan karakteristik produk yang diinginkan. Beberapa produk kering-beku yang dihasilkan bisa dihaluskan lebih lanjut (seperti pengeringan beku untuk kopi instan). Selain itu penanganan lanjut juga bisa berupa pencampuran antara dua atau lebih jenis produk kering-beku.

## 6. Pengemasan

Segera setelah proses pengeringan-beku selesai, produk sebaiknya dikemas secara kedap untuk mempertahankan mutu produk. Hal ini disebabkan karena sifat khas produk kering-beku yang sangat higroskopis (mudah menyerap air). Oleh karena itu, pengemasan yang kedap menjaga produk tetap kering, dan menghindari rehidrasi akibat udara luar yang lembab.

### DESAIN PERALATAN

Metode pengeringan beku membutuhkan peralatan khusus yang disebut sebagai mesin pengering beku (*freeze dryer*). Peralatan bekerja dengan memanfaatkan konsep pemanasan tidak langsung atau *indirect drying* atau juga disebut pengering konduksi (*conduction dryer*). Proses perpindahan panas selama proses pengeringan terjadi secara tidak langsung, antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas. Kandungan air yang berada di dalam bahan basah menguap tidak bersama dengan media pemanas seperti yang terjadi pada tipe pengering lainnya. Proses pengeringan beku memanfaatkan hantaran panas secara konduksi dan proses penguapannya dilakukan pada suhu yang sangat rendah. Adapun bagian-bagian utama dari sebuah mesin pengering beku terdiri dari unit pendingin atau pembeku, unit evaporator, mesin pompa vakum dan ruang pengeringan (lihat Gambar 5-6).



Gambar 5-6. Skema umum sistem pengering beku  
(Sumber: gambar ulang dari Hariyadi, 2013)

Peralatan pengering beku dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe *product chamber* (lihat Gambar 5-7), diantaranya: (1) *Manifold dryers* untuk tipe produk *pre-frozen & in flasks* (2) *Shelf dryers* dimana produk diletakkan langsung pada rak-rak pengering (3) Kombinasi dari dua unit.



Gambar 5-7. Berbagai Jenis Peralatan Pengering Beku Berdasarkan Tipe *Product Chamber*  
(Sumber: spscientific.com)

Selain itu, peralatan pengering beku dapat diklasifikasikan berdasarkan ukuran dan tujuan penggunaan (lihat Gambar 5-8), diantaranya: (1) *laboratory bench-top units* biasanya digunakan untuk kepentingan R&D (2) *pilot units* untuk tahap pengembangan atau scale up, dan (3) *larger production-sized units* untuk produksi skala besar.



Gambar 5-8. Berbagai Jenis Peralatan Pengering Beku Berdasarkan Ukuran Dan Tujuan Penggunaan  
(Sumber: spscientific.com)

Pemilihan peralatan pengering beku disesuaikan pada karakteristik produk serta variabel lain yang berbasis pada aplikasi lainnya, termasuk wadah tempat produk akan dikeringkan, area rak atau jumlah port yang diperlukan untuk mengakomodasi jumlah yang akan dikeringkan di setiap batch, total volume es yang akan dikondensasi dan apakah ada pelarut organik. Selain itu, jenis dan bentuk produk yang dikeringkan dan penggunaan akhirnya juga perlu diperhatikan.

Selain peralatan, variabel proses dalam pengoperasian peralatan juga sangat penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan peralatan pengering beku. Waktu pengeringan merupakan salah satu variabel proses yang sangat penting dan berpengaruh terhadap biaya produksi. Semakin

lama waktu pengeringan semakin besar biaya operasional pengeringan. Suhu proses pengeringan juga sangat penting untuk diperhatikan. Pengaturan suhu yang kurang tepat bisa mempengaruhi mutu produk akhir.

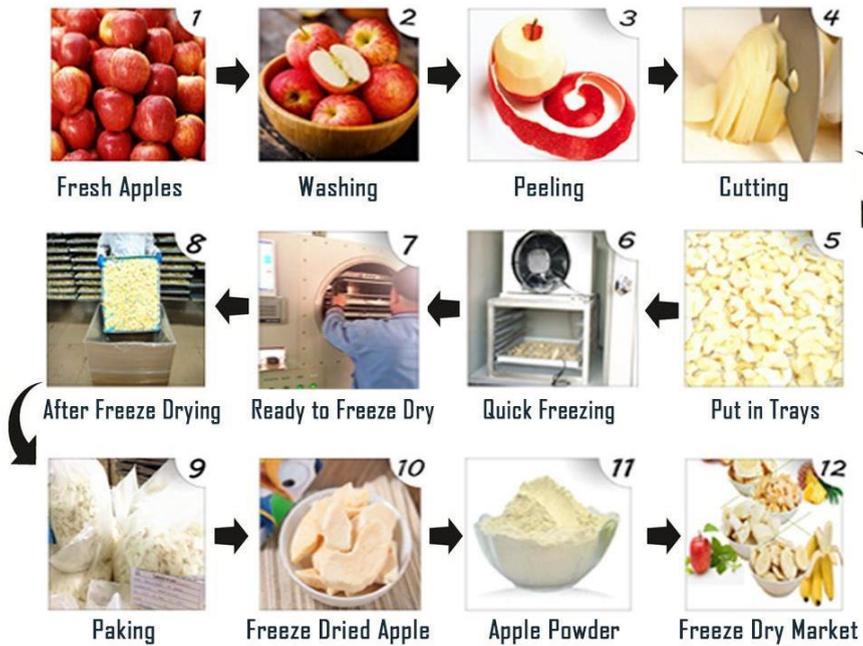
## **APLIKASI**

Hingga saat ini pengeringan beku telah digunakan sebagai metode pengawetan yang menghasilkan produk dengan nilai tambah ekonomi yang tinggi, baik berupa produk makanan (seperti konsentrat dan ekstrak dari buah dan sayur, kolagen, es krim beku dan lainnya), farmasi (vaksin, plasma, antibiotik, produk perawatan kesehatan, dan lainnya), dan untuk industri pertanian (pembuatan biofertilizer). dan berbagai produk lainnya. Metode ini sangat tepat digunakan untuk mengawetkan berbagai macam bahan yang sensitif terhadap panas, seperti: protein, mikroba, obat-obatan, jaringan & plasma. Hal tersebut karena pengeringan beku berlangsung pada suhu yang sangat rendah, sehingga perubahan penampilan dan karakteristik produk kering dapat diminimalisir.

Produk pangan pertama yang diproses dengan teknologi pengeringan beku adalah kopi; khususnya kopi instan. Selain itu, berbagai jenis produk olahan lainnya; seperti buah, sayuran, daging, telur, bumbu, serta berbagai jenis sup instan siap saji juga banyak diproduksi dengan menggunakan proses pengeringan-beku. Berbagai bahan pangan yang cocok dan relatif mudah untuk dikeringkan dengan pengeringan-beku adalah produk pangan larutan, daging yang telah diiris tipis, udang (utuh atau pun potongan), daging kepiting, lobster, daging sapi, daging ayam, irisan buah/sayuran, buah/sayuran utuh yang berukuran kecil, campuran aneka sayur yang merupakan bagian sup; berbagai jenis herbal dan rempah rempah, atau

pun produk bubur yang siap disajikan hanya dengan penambahan air panas saja. Hampir semua jenis buah dan sayuran bisa dikering-bekukan; termasuk kacang- kacangan, jagung, tomat, berries, nanas dan lain-lain. Lebih lanjut, metode pengeringan beku juga telah banyak menghasilkan produk inovatif terutama untuk keperluan *camping* dan/atau *hiking*, ekspedisi luar angkasa, obat, vaksin, enzim, dan lain sebagainya. Bahkan *freeze dryer* juga digunakan secara luas untuk mengeringkan serangga untuk keperluan konsumsi. Serangga beku-kering utuh maupun dalam bentuk bubuk dijual sebagai pakan hewan dan semakin banyak juga untuk dikonsumsi manusia.

Salah satu contoh tahapan proses dalam pengeringan beku produk buah Apel dapat dilihat pada Gambar 5-9. Sebelum proses pengeringan, apel diberi penanganan pendahuluan seperti pencucian, pengupasan dan pemotongan. Selanjutnya apel yang sudah dipotong diletakkan di atas tray dan siap untuk dimasukkan dalam *freeze dryer*. Setelah beberapa jam pengeringan, apel bisa dikeluarkan dari *freeze dryer*. Segera setelah itu produk apel kering harus segera dikemas. Namun jika produk akhir yang diharapkan dalam bentuk bubuk maka bisa dilakukan pengolahan lanjut, seperti penggilingan.



Gambar 5-9. Tahapan Pengeringan Beku Pada Produk Buah  
(Sumber: ko.chinafreeze dryer.com)

## KARAKTERISTIK PRODUK KERING BEKU

Produk pangan kering yang dihasilkan dari proses pengeringan beku disebut sebagai produk pangan kering-beku (*freeze dried foods*). Beberapa contoh produk kering beku dapat dilihat pada Gambar 5-10. Adapun beberapa karakteristik umum produk tersebut adalah sebagai berikut:

1. Sebagaimana produk kering lainnya; produk kering beku merupakan produk yang sangat ringan. Faktor "ringan" ini telah menyebabkan produk kering merupakan produk populer bagi kalangan atau komunitas "*boaters*", "*hikers*" atau "*camper*" yang harus membawa bekal pangan dengan ransel di pundaknya.

2. Memiliki umur simpan yang lama tanpa memerlukan refrigerasi, sehingga biaya transportasi dan penyimpanan (*shipping and storage costs*) lebih rendah.
3. Produk kering-beku memiliki stabilitas yang baik, tidak rentan ditumbuhi kapang dan khamir maupun bakteri
4. Produk memiliki porositas tinggi, sehingga mempermudah proses proses rehidrasi produk dan mempermudah pula proses persiapan untuk konsumsinya. Dengan kata lain; produk kering-beku umumnya memiliki karakter lebih higroskopis; lebih mudah direhidrasi, lebih mudah dilarutkan.
5. Produk pangan kering-beku memiliki atribut sensori yang dapat dipertahankan dari segi warna, bentuk, tekstur, dan flavor, bahkan produk yang telah direhidrasi mempunyai mutu sensori yang mirip dengan produk asalnya.



**Freeze Dried Fruit**



**Freeze Dried Fruit Powder**



**Freeze Dried Vegetables**



**Freeze Dried Seafood**



**Freeze Dried Meat**

**Soluble Beverage**

**Instant Soup & Congee**

Gambar 5-10. Berbagai Produk Buah Kering Beku  
(Sumber: ko.chinafreezedryer.com)

## KELEBIHAN DAN KEKURANGAN

Dibandingkan dengan proses pengeringan lainnya, freeze-drying produk kering beku memiliki banyak keunggulan:

### **1. Kandungan Gizi Masih Terjaga Dengan Baik**

Karena bahan dikeringkan pada suhu dan tekanan rendah maka zat gizi pada dasarnya tidak banyak berubah. Produk beku umumnya mempertahankan hampir semua kandungan zat gizi yang ada pada pangan segar.

### **2. Bentuk tidak banyak mengalami perubahan**

Karena merupakan konversi langsung air dari fase padat ke fase gas, maka bentuk makanan tidak berubah, selama pengeringan ruang yang ditempati kristal es menjadi pori-pori dan bahan juga tidak mengalami penyusutan. Makanan beku-kering mempertahankan bentuk dan tekstur aslinya, tidak seperti makanan kering lainnya, yang menyusut dan mengerut karena pemrosesan suhu tinggi.

### **3. Warna makanan dapat dipertahankan**

Karena pengeringan dilakukan pada suhu rendah dan kondisi rendah oksigen (vakum), sifat fisik dan kimia makanan tidak berubah, terutama karena tidak ada perubahan besar dalam kemampuan merespon cahaya tampak setelah rehidrasi. Karena efek oksidasi dan enzimatis yang sangat halus, sehingga warna asli pangan dapat dipertahankan.

#### **4. Rasa dan Aroma tidak banyak berubah**

Karena komponen aromatik dalam makanan tetap berada di bagian terkonsentrasi amorf selama proses pembekuan, aromanya tidak akan hilang saat kristal es menguap. Selain itu, pengeringan beku menghilangkan air saja, bukan rasa.

#### **5. Produk kering sangat ringan**

Makanan beku-kering mengalami pengurangan kadar air hingga sekitar 98%. Kondisi tersebut akan menyebabkan penurunan massa sekitar 90%. Karena bobotnya yang ringan per volume makanan yang dilarutkan, produk kering-beku populer dan nyaman bagi pejalan kaki. Lebih banyak makanan kering yang dapat dibawa dengan berat yang sama dari makanan basah, dan tetap dalam kondisi baik lebih lama daripada makanan basah, yang cenderung cepat rusak.

#### **6. Daya Rehidrasi mudah & cepat**

Karena kandungan air dalam bahan meninggalkan banyak pori-pori setelah pengeringan, menyebabkan kemampuan rehidrasi pangan menjadi cukup bagus, hanya butuh waktu sangat singkat untuk direhidrasi lebih dari 95%. Konsumen hanya perlu menambahkan air, bahan akan segar kembali.

#### **7. Penyimpanan yang nyaman & masa simpan yang lama**

Karena tingkat dehidrasi yang tinggi, maka produk tidak memerlukan tambahan pengawet, dan umur simpan yang sangat lama dapat dicapai pada suhu kamar, tanpa kerusakan atau pembusukan. Hal tersebut karena pengeringan beku dan pengemasan menghilangkan air dan oksigen - dua penyebab utama kerusakan makanan. Umur simpan bisa melebihi lima tahun

selama kemasannya bagus. Rantai dingin tidak diperlukan untuk penyimpanan, karena bobotnya ringan, penyimpanan dan transportasi jauh lebih nyaman.

Dengan segala kelebihan yang dimiliki, proses pengeringan-beku juga mempunyai berbagai kelemahan terutama karena biaya investasi, operasi dan pemeliharaan yang tinggi. Selain itu, kompleksitas proses dan peralatan membutuhkan tim yang terampil dan kolaborator yang terlatih secara permanen. Kondisi tersebut menyebabkan produk produk kering-beku dipasarkan dengan harga yang relatif mahal dibandingkan dengan produk kering sejenis.

## REFERENSI

1. Argo, B. D. 2020. *Desain Saniter Mesin Pengeringan Beku Untuk Industri Pangan*, 15(10): 23-25.
2. Asiah, N., & Djaeni, M. 2021. *Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan*. AE Publishing, Malang.
3. Asiah, N., Cempaka, L., Ramadhan, K., & Matatula, S. H. 2020. *Prinsip Dasar Penyimpanan Pangan Pada Suhu Rendah*. Nasmedia, Makasar.
4. Barley, J. 2021. *Basic Principles Of Freeze-Drying*. SP industries Inch.
5. Ellab, 2018. *The Freeze-Drying Theory and Process Things to Consider*. Ellab White Paper.
6. Hariyadi, P. 2013. *Freeze Drying Technology: for Better Quality & Flavor of Dried Products*. *Food Review Indonesia*, 8(2): 52-57.
7. Pengeringan beku digunakan secara luas untuk mengawetkan serangga untuk keperluan konsumsi. Serangga beku-kering utuh dijual sebagai makanan hewan eksotis, pakan burung, umpan ikan, dan semakin banyak untuk konsumsi manusia. Serangga beku-kering bubuk digunakan sebagai basis protein dalam pakan ternak, dan di beberapa pasar, sebagai suplemen nutrisi untuk penggunaan manusia
8. <http://ko.chinafreeze dryer.com/news/advantages-of-freeze-dried-food>
9. <https://greenhouseemporium.com/blogs/greenhouse-gardening/is-freeze-drying-the-best-food-preservation-method/>
10. <https://www.expertmarketresearch.com/reports/freeze-dried-fruits-and-vegetables-market#:~:text=Global%20Freeze%2DDried%20Fruits%20and%20Vege>

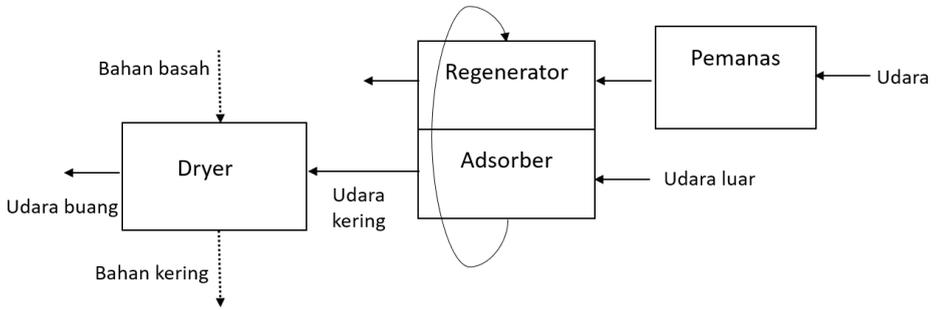
tables%20Market%20Outlook,USD%20262.7%20million%20by%2020202  
7.

11. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/freeze-dried-food-market-report>
12. <https://www.spscientific.com/freeze-drying-lyophilization-basics/>
13. Mchugh, T. 2018. Freeze-Drying Fundamentals. *Food Technology Magazine*, 72 (2).
14. Nowak, D & Jakubczyk, E. 2020. 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*, 9(10): 1488.
15. Prosapio, V., & Lopez-Quiroga, E. 2020. Freeze-Drying Technology in Foods. MDPI: Switzerland.
16. Singh, R.P., & Heldman, D.R. 2009. *Introduction to Food Engineering Fourth Edition*. Academic Press, New York.

## PENGERINGAN DENGAN MEDIA UDARA BERKELEMBABAN RENDAH DAN PERKEMBANGANNYA

### KONSEP DASAR

Pengeringan dengan dehumidifikasi memiliki prinsip kerja penggunaan adsorben (lihat Gambar 6-1) untuk menurunkan kelembaban udara sebelum udara memasuki pemanas. Pereduksian kadar air yang dikandung oleh udara menjadi **driving force** dalam melangsungkan perpindahan sejumlah massa air dalam bahan menuju ke udara. Hal ini mengakibatkan proses pengeringan dapat terjadi dalam waktu yang lebih cepat dan bekerja secara efisien, terlebih pada kondisi suhu operasi rendah. Penggunaan adsorben (salah satunya zeolite) dalam selang tertentu akan mencapai tingkat kejenuhan pasca menurunkan kelembaban udara tersebut. Adsorben dapat digunakan 120embali dengan memberikan proses pemanasan (regenerator) sebagai upaya melangsungkan proses regenerasi. Pertimbangan atas kebutuhan panas pada unit pengeringan dengan dehumifikasi udara, penggunaan zeolite mampu memberikan efisiensi kebutuhan energi sebesar 10-30% di atas penggunaan pengering konvensional.



Gambar 6-1. Skema Sistem Pengering Dengan Dehumidifikasi Udara

**Keunggulan inovatif dan komparatif teknologi ini adalah:**

1. Merupakan teknologi baru di bidang pengeringan, dimana pengeringan dengan dehumidifikasi memanfaatkan adsorben (seperti alumina, silika, zeolite, karbon aktif, dan LiCl) dalam mengurangi kelembaban udara yang diinput dan menjadikan air dalam udara teruapkan sehingga kapasitas udara tersebut mengalami peningkatan
2. Meningkatkan laju proses pengeringan yang telah dilakukan oleh poin (1) sebagai *driving force*, sehingga mengakibatkan waktu pengeringan tereduksi atau lebih cepat karena unit kerja berlangsung secara efisien, serta kebutuhan atas udara proses dapat menjadi lebih sedikit kuantitasnya
3. Suhu pengeringan yang rendah, sangat tepat untuk produk pertanian, karena degradasi nutrisi, vitamin, bahan aktif dan tekstur dapat dihindari
4. Hasil telah menunjukkan, efisiensi energi pengering dengan zeolite adalah 80-90% (40% di atas pengering konvensional), sehingga penurunan kebutuhan bahan bakar (*running cost*) dapat berlangsung.

5. Hasil samping pertanian (seperti: sekam, tongkol jagung, atau arang) dapat menjadi alternatif bahan bakar dalam menghemat biaya dan mengarahkan jalan ke arah kemandirian UKM dengan energi terbarukan menjadi lebih nyata.

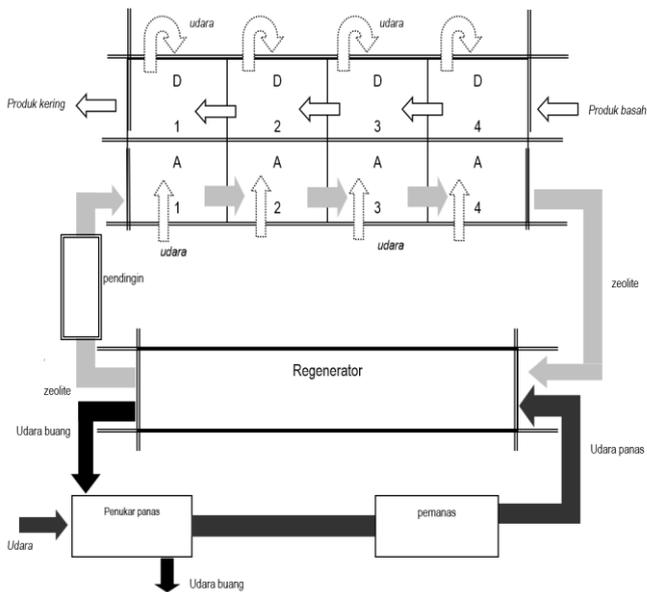
## APLIKASI

### a. Penelitian Fundamental

Riset dasar yang pertama bagi pengeringan dengan dehumidifikasi adalah melibatkan peran Azas Teknik Kimia berupa neraca kesetimbangan baik massa maupun energi. Unit pengeringan tipe ini memiliki lingkup keseluruhan proses berupa proses adsorpsi, pengeringan, dan regenerasi adsorben. Kedua neraca tersebut akan membantu dalam mengidentifikasi ada tidaknya *recycle* panas dari keluaran unit pengering sebagai upaya pemanfaatan kembali panas yang keluar secara berkesinambungan. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh (Djaeni dkk., 2007a), penggunaan adsorben dalam kinerja proses pengeringan mampu memberikan capaian efisiensi energi sebesar 75%. Hasil ini menjadi titik tolak adanya desain lanjutan bagi unit pengeringan dengan dehumidifikasi secara *multistage*, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6-2. Sistem kedua yang multi tahap ini memberikan kinerja berkelanjutan baik pada udara basah maupun peran adsorben.

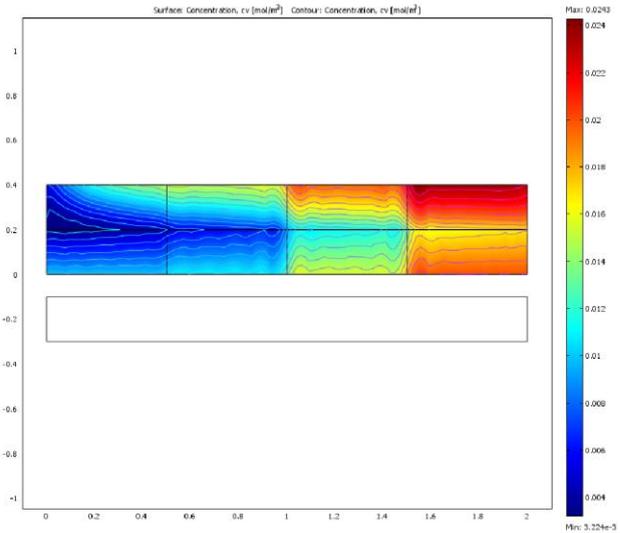
Dari Gambar 6-2 tersebut, udara lembab (basah) yang keluar dari area D unit pengering akan mengalami proses dehumidifikasi kembali pada area A unit adsorben. Proses ini terus berulang sesuai desain lanjutan yang bekerja secara *multistage* (Djaeni dkk., 2009a). Keberadaan regenerator pada unit

pengeringan dengan dehumidifikasi akan melangsungkan proses regenerasi zeolite yang telah jenuh agar adsorben tersebut dapat digunakan kembali. Langkah ini dapat berlangsung secara berulang dengan memperhatikan jumlah tahapan atas desain lanjutan yang dimiliki peneliti. Tujuannya adalah neraca panas atas panas sebagai upaya pemanfaatan kembali panas untuk proses pengeringan tahap selanjutnya dari panas yang terbuang pada tahap sebelumnya. Hasil dari penelitian (Djaeni dkk, 2008;2007b) didapatkan nilai efisiensi energi proses pengeringan dengan dehumidifikasi sebesar 80-90% dengan menerapkan desain lanjutan tersebut. Semakin besar kemampuan adsorben dalam menyerap air dalam udara akan meningkatkan kuantitas pelepasan panas.



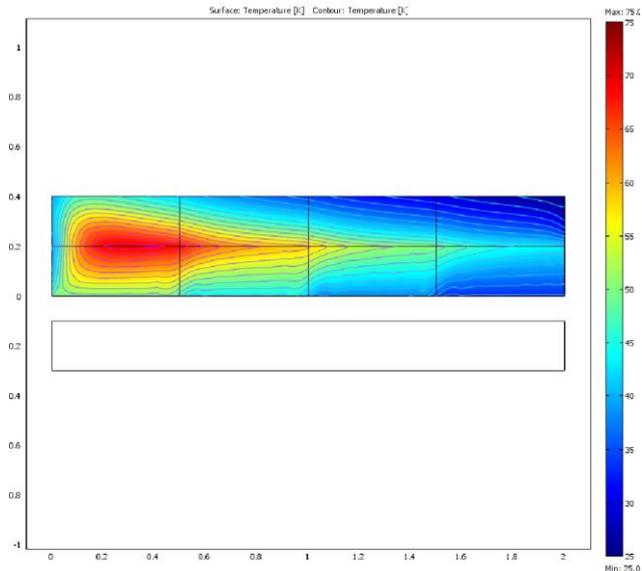
Gambar 6-2. Rangkaian model unit pengering (D) dengan penggunaan adsorben (A) zeolite secara multi tahap  
(Sumber: Djaeni dkk., 2008)

Penampilan secara satu dimensi pada Gambar 6-2 dapat didekatkan secara rinci melalui visual dinamika dua dimensi. Tujuannya adalah mendapatkan gambaran distribusi konsentrasi air dan suhu udara, serta kalkulasi perolehan efisiensi energi unit peralatan proses pengeringan dehumidifikasi. Penyajian Gambar 6-3 dan 6-4 memberikan perwakilan untuk distribusi air dan suhu udara secara berturut-turut. Hasil perhitungan dari keduanya menunjukkan bahwa nilai efisiensi energi memiliki kesetaraan terhadap kuantitas tahap. Semakin banyak jumlah tahap yang digunakan maka semakin tinggi pula efisiensi yang didapatkan. Akan tetapi, ketika kuantitas tahap berada di atas angka 3, nilai efisiensi energi tidak memberikan kontribusi yang signifikan. Hasil penelitian dari (Djaeni dkk, 2008) mampu memberikan sebuah rekomendasi bahwa penerapan kuantitas tahap sebanyak 2-3 pada unit pengeringan dengan dehumidifikasi memiliki kisaran efisiensi panas sebesar 80-90% (Djaeni dkk, 2008).



Gambar 6-3. Distribusi Suhu Udara Di Pengering Dan Adsorber

(Sumber: Djaeni dkk., 2008)

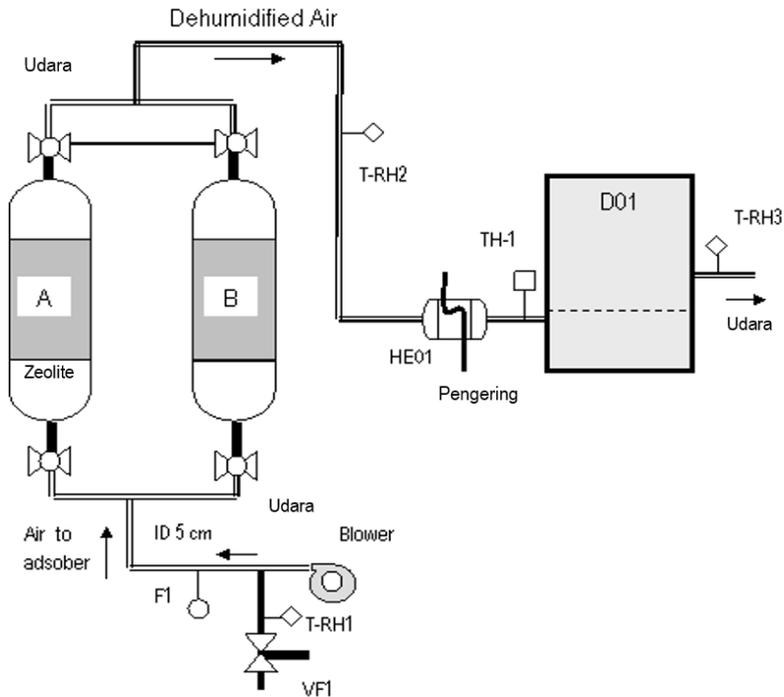


Gambar 6-4. Distribusi Suhu Udara Di Pengering Dan Adsorber

(Sumber: Djaeni dkk., 2008)

Sistem pengeringan dengan agen dehumidifikasi zeolite juga telah dilakukan upaya konstruksi dan peninjauan dalam bentuk evaluasi. Sistem tipe ini ditunjukkan oleh Gambar 6-5 dengan melibatkan penggunaan udara sebagai media pengering yang telah terdehumidikasi melalui zeolite (lihat kolom A sebagai adsorber) sebagai upaya penurunan kelembaban udara untuk mendekati angka nol. Udara keluaran dari kolom A selanjutnya memasuki pemanas (HE01) untuk mencapai suhu proses pengeringan yang diinginkan dan udara panas dialirkan ke ruang pengering (D01). Penggunaan zeolite sebagai adsorber dalam rentang waktu tertentu (contohnya: 45-60 menit) akan mencapai titik jenuh. Proses dehumidifikasi udara selanjutnya dapat dialihkan ke kolom adsorben B. Untuk zeolite yang berada di kolom A akan mendapatkan proses regenerasi. Proses kerja bergilir (*shift*) untuk

kedua kolom dapat dijalankan secara berulang hingga kadar air dalam bahan mencapai 10% atau disesuaikan kebutuhan proses. Dari unit sistem pada Gambar 6-5 didapatkan hasil bahwa efisiensi energi melalui penggunaan dua kolom adsorben selama proses pengeringan mampu mencapai nilai sebesar 72-75%.



Gambar 6-5. Rangkaian Percobaan Untuk Unit Sistem Pengering Dengan Adsorben Zeolite (T-RH, TH, dan V-F1 adalah Instrumen Kontrol Temperatur Dan Kelembaban, Sensor Suhu, dan Pengatur Laju Alir – Valve, Secara Berturut-Turut)

Proses kemudian dikembangkan menjadi multi tahap (2, 3 dan 4 stage) secara simulasi. Hasil penggunaan skema Gambar 6-5 memaparkan bahwa kisaran 82-84% nilai efisiensi energi dicapai oleh penerapan sistem pengering dengan dehumidifikasi dua tahap (Djaeni dkk., 2009b). Jika

penggunaan pengering ini dengan satu tahap mampu memberikan capaian sebesar 72-75% yang terbilang ekuivalen untuk penggunaan pengering konvensional empat tahap (lihat Tabel 6-1). Pencapaian ini memberikan kesetaraan terhadap hasil estimasi dengan menerapkan model dinamika maupun *steady state* (tunak atau ajeg) untuk jumlah *stage* yang sama (Djaeni dkk., 2011). Secara singkatnya, nilai kisaran untuk efisiensi peralatan pengering dengan dehumidifikasi (zeolite) baik secara model maupun uji coba mampu memberikan konsistensi hasil yang tinggi (Djaeni dkk., 2011).

Tabel 6-1. Efisiensi energi (%), sistem pengering konvensional dan pengering dengan zeolite

Sistem Pengering	Efisiensi Energi							
	1		2		3		4 tahap	
	M	E	M	E	M	E	M	E
Zeolite	74	72-75	82	82-84	90		92	-
Konvensional	63	60					72	

(Keterangan: M = model, dan E = eksperimen)

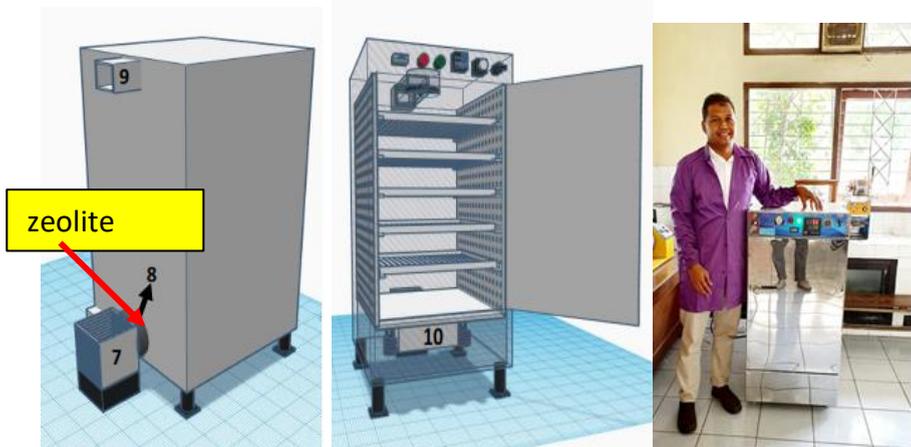
### **b. Penerapan Pengeringan Dengan Dehumidifikasi Bagi Bahan Pangan Dan Aditif**

Implementasi dari agen dehumidifikasi zeolite dalam sistem pengering bagi bahan pangan dan tambahan (aditif) juga telah dilakukan. Jenis unit peralatan ini yang telah dievaluasi adalah pengering model rak bertingkat (*tray*), penggunaan unggun terfluidisasi, dan semprot (*spray*). Jenis pengering pertama diterapkan bagi bahan padat maupun semi padat dengan area proses pengeringan berupa baki atau rak (nampan, umumnya berbahan *stainless steel*). Untuk jenis kedua ditujukan bagi bahan granul, partikel maupun butiran (*grain*) dengan menghadirkan hembusan udara dari

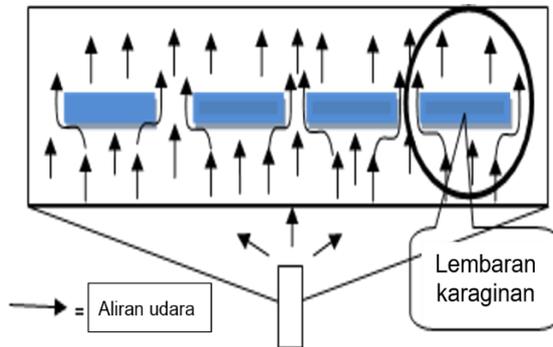
bagian bawah unit peralatan pengering. Umumnya, pengguna menerapkan bagi produk biji-bijian dan sejenisnya. Jenis pengering ketiga diarahkan bagi bahan cairan baik pekat – non pekat. Umpam disemprotkan keluar untuk dikontakkan dengan udara pengering melalui pemanfaatan lubang *nozzle*. Produk pengeringannya lebih mengarah berbentuk serbuk (contohnya: susu bubuk), maupun obat atau ekstrak bahan pangan.

### **Tinjauan Evaluasi Sistem Pengering Dengan Zeolite Bagi *Tray Dryer***

Dengan menggunakan media udara yang didehumidifikasi zeolite, sistem pengering rak telah diuji pada beberapa produk, termasuk karaginan, bawang merah, dan rumput laut (Gambar 6-6). Karaginan dibuat dari ekstraksi rumput laut jenis *Euchema cottoni*. Selama proses pengeringan ini, kualitas produk dan kecepatan pengeringan dievaluasi. Selain percobaan, langkah ini juga menghasilkan model matematika untuk melihat peristiwa yang terjadi di dalam bahan. Salah satu contohnya adalah mengetahui bagaimana air menyebar dari dalam ke permukaan bahan (Gambar 6-7). Simulasi dua dimensi berdasarkan fenomena dan data percobaan dilakukan oleh Femlab (Djaeni dkk., 2012).



Gambar 6-6. Konstruksi Tray Dryer Kerjasama CV Raja Pengering



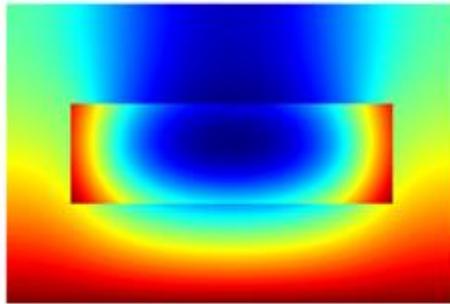
Gambar 6-7. Visualisasi Pengeringan Karaginan Model Tray (Sumber LDjaeni dkk., 2012)

Menurut hasil percobaan dan model matematika, penggunaan zeolite dapat meningkatkan kecepatan proses pengeringan. Proses pengeringan karaginan dengan zeolite lebih cepat satu jam daripada metode pengeringan konvensional. Selain itu, profil distribusi suhu udara dapat digambarkan secara valid dengan model dinamika dua dimensi (6-8). Tingkat keputihan dan kekuatan gel terjaga tetap baik pada suhu di bawah  $100^{\circ}\text{C}$ , jika dievaluasi dari sisi mutu produk karaginan yang dihasilkan (Tabel 6-2).

Diketahui bahwa amilosa dan amilopektin, komponen utama karaginan, terpengaruh oleh sifat fisiko kimianya pada suhu lebih dari 100°C.

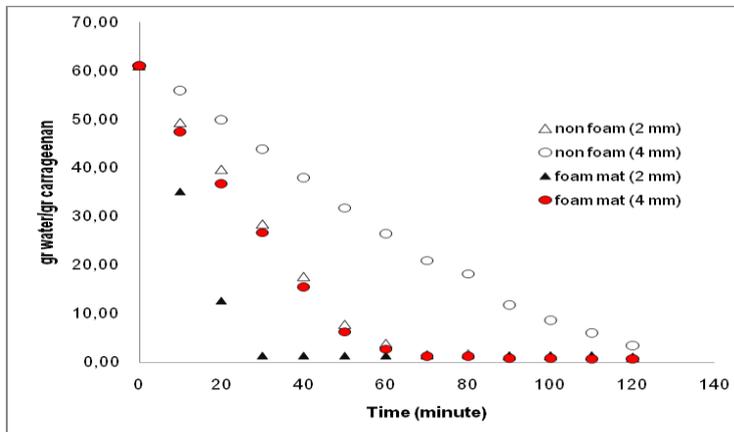
Tabel 6-2. Kualitas Karaginan Yang Dihasilkan Pada Ragam Suhu Pengeringan

Suhu, °C	Tingkat keputihan	Kekuatan gel, gr.cm <sup>-2</sup>
40	53	116,0
60	50	105,1
80	44	98,8
100	40	87,5
120	36	63,0

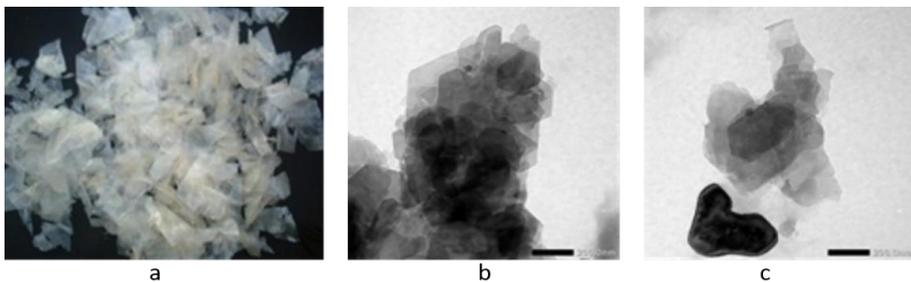


Gambar 6-8. Persebaran Temperatur Bagi Udara Dan Potongan Karaginan (Sumber: Djaeni dkk., 2012)

Untuk hasil yang lebih baik, karaginan dapat dicampur dengan pembentuk gelembung (*foaming agent*), seperti putih telur. Tujuannya adalah untuk mengurangi sifat lengket karaginan dan memperluas area penguapan air. Kombinasi ini memiliki kemampuan untuk mempercepat pengeringan hingga dua hingga tiga kali lipat lebih cepat dari metode konvensional (Gambar 6-9) (Djaeni dkk., 2015a). Dalam hal kualitas, kombinasi ini menghasilkan struktur karaginan yang lebih rapuh dan berongga, dan membuat penggilingan menjadi serbuk *ultrafine* lebih mudah (Gambar 6-10).



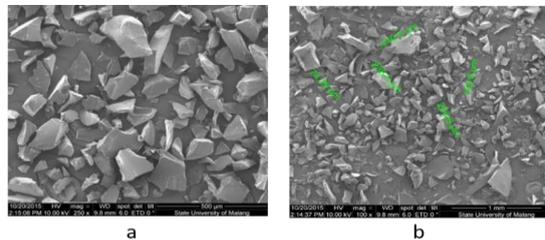
Gambar 6-9. Profil Kadar Air Pada Pengeringan Karaginan Baik Tanpa Dan Melibatkan Gelembung (*Foaming*)  
(Sumber: Djaeni dkk., 2015a)



Gambar 6-10. (a) Bagian Potongan Karaginan Kering, Penampilan Struktur Karaginan Melalui Uji TEM (*Transmission Electron Microscopy*): (b) Tidak, Dan (c) Menggunakan Gelembung  
(Sumber: Djaeni dkk., 2015a)

Selain itu, penggunaan media udara yang didehumidifikasi zeolite untuk pengeringan karaginan diuji untuk ekstrak pekat bunga rosela. Menurut hasil penelitian, pengeringan udara yang cepat membuat struktur ekstrak lebih rapuh dan memungkinkan pembentukan bubuk yang lebih kecil. Selain itu, bunga rosela dapat mempertahankan kadar antosianin dan

vitamin C yang tinggi (Djaeni et al., 2014). Studi menunjukkan bahwa kualitas antosianin tidak berubah ketika sistem dehumidifikasi udara digunakan pada suhu 40 hingga 70 derajat Celcius. Selain itu, suhu meningkatkan kecepatan pengeringan. Kecepatan pengeringan dipengaruhi oleh kedua kecepatan linier udara dan suhu. Meningkatkan kecepatan linier udara meningkatkan kecepatan pengeringan dan menurunkan waktu pengeringan (Djaeni et al., 2014). Dengan singkatnya waktu pengeringan, partikel rosela yang dihasilkan akan lebih mudah untuk dihancurkan sehingga menghasilkan ukuran yang lebih kecil (6-11).



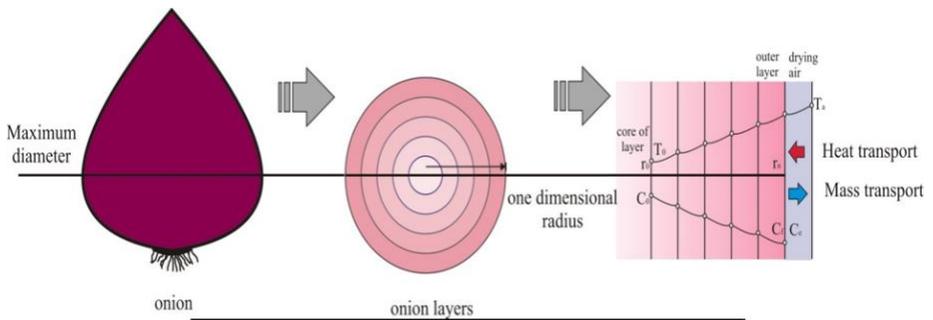
Gambar 6-11. Penampilan Ekstrak Bunga Rosela Suhu 60°C Melalui Uji *Scanning Electron Microscope* – SEM: (a) Tanpa, (b) Menggunakan Agen Dehumidifikasi

Pengeringan bawang merah juga memiliki hasil yang sama. Tujuan pengeringan bawang merah adalah untuk mengeringkan bagian kulit luarnya semata pada kadar air 12–15 persen. Ini akan melindungi bagian dalam bawang agar tetap segar, berwarna, dan memiliki kandungan aktif seperti vitamin C dan quercetin. Dengan kulit luar basah, bawang merah pertanian biasanya memiliki kadar air total kurang lebih 90%. Bawang merah yang disimpan dalam kondisi ini akan menjamur dengan cepat. Setelah pengeringan, bawang merah aman untuk disimpan sebelum digunakan atau diberikan kepada pelanggan karena kadar air kulit terluarnya sebesar 12% dan kadar air bawang merah sebesar 85%.

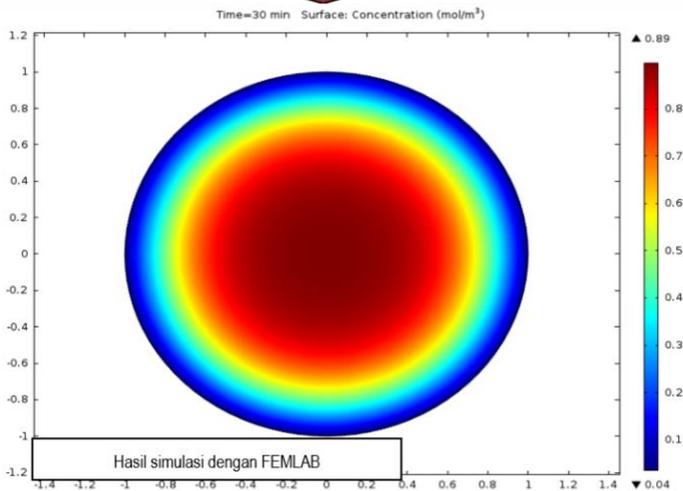
Proses pengeringan bawang merah ini dilakukan dalam tiga tahap. Pertama, percobaan dilakukan pada skala prototipe dengan kapasitas 5 kg per *batch*. Setelah itu, model matematika dibuat untuk melacak bagaimana kandungan bawang merah tersebar selama proses pengeringan dan menghitung waktu pengeringan yang efektif. Terakhir, pengering dibuat pada skala unit demonstrasi (*pilot*) yang memiliki kapasitas terpasang 120 kg per *batch*. Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Kementerian Pertanian, dan BPTP Jawa Tengah bekerja sama dalam proyek ini.

Selama dua jam pengeringan di skala laboratorium, hasilnya menunjukkan bahwa kadar quercetin dan warna bawang merah tidak berubah, terutama pada suhu 40 hingga 50°C. Selain itu, dari perhitungan konstanta pengeringan, air menguap dengan cepat, dan waktu pengeringan bawang merah berlangsung selama lima jam, yang merupakan dua jam lebih hemat daripada metode pengeringan konvensional (Asiah dan Djaeni, 2015).

Selain untuk menghitung waktu pengeringan, konstanta pengeringan dan difusivitas air dalam bawang juga digunakan untuk memprediksi distribusi air di setiap lapisan bawang. Hasilnya menunjukkan bahwa kulit terluar bawang dapat dijaga 12%, dengan kadar air di lapisan dalam tetap tinggi, yang menghasilkan kadar air rata-rata sekitar 85% (Gambar 6-12).

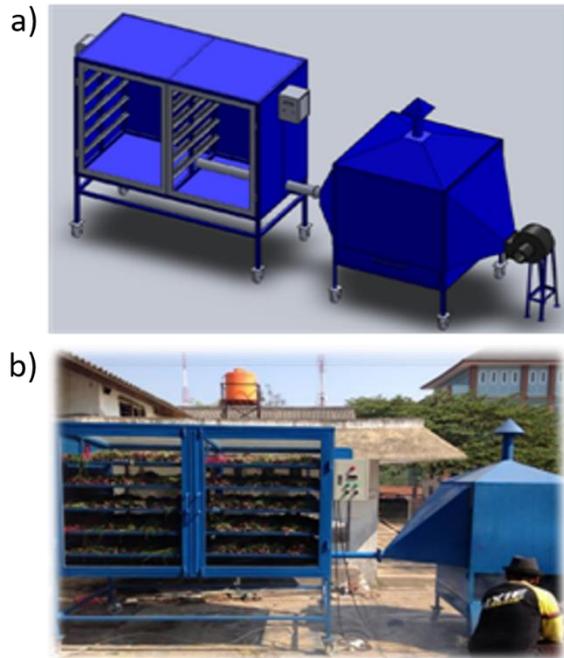


Analisa fenomena distribusi kadar air lapisan bawang merah



Gambar 6-12. Profil Distribusi Air Dalam Lapisan Bawang Dengan Model Tervalidasi

Hasil perhitungan ini juga diuji dengan bahan bakar sekam dengan kapasitas pengeringan bawang merah 120 kilogram per *batch* (Gambar 6-13). Pada tungku pembakaran sekam, udara sebagai media pengering dipanaskan. Selanjutnya, udara ini masuk ke dalam ruangan pengering untuk membuat air dari bawang merah menguap. Sebagai hasil dari zeolite yang terdapat di ruang pengering, kelembaban udara di dalamnya dijaga rendah (Djaeni dkk., 2015b).



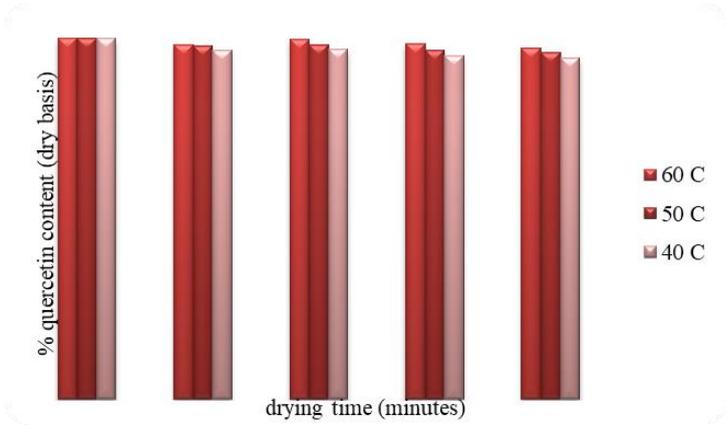
Gambar 6-13. Sistem Pengeringan Untuk Bahan Bawang Dengan Kapasitas 120 Kg Per *Batch*: (a) Desain, Dan (b) Konstruksi Sebagai Bentuk Kerjasama Dengan BPTP Jawa Tengah Dan Balai Budidaya Pengembangan Mekanisasi Pertanian (Sumber: Djaeni dkk., 2015b)

Ada bukti bahwa, dari segi kandungan bahan aktif, nutrisi, dan sifat fisik produk, sistem pengering dengan zeolite dapat mempertahankan kualitas bawang merah. Kadar quercetin adalah 1,5–1,6 gram per 100 g bawang kering pada suhu operasi 40–50°C, dengan efisiensi energi mencapai 70–75% (Asiah dan Djaeni, 2015; Djaeni dkk., 2015b).

Sistem pengering ini telah diuji untuk rumput laut dan bawang merah juga. Rumput laut jenis *Euchema cottonii*, yang digunakan untuk membuat karaginan Selain itu, telah dilakukan upaya untuk mengeringkan rumput laut. Hasilnya menunjukkan bahwa pengeringan zeolite dapat

mempertahankan kualitas rumput dengan nilai *swelling power* antara 12,0 hingga 13,0 pada suhu operasi antara 50 – 60°C (Djaeni dan Agustina, 2015). Untuk pengeringan rumput laut tanpa zeolite, metode ini lebih cepat satu jam daripada metode konvensional, membutuhkan waktu empat hingga enam jam untuk mengurangi kadar air dari 95 menjadi 15%. Saat menggunakan sinar matahari, diperlukan waktu efektif antara empat dan lima hari.

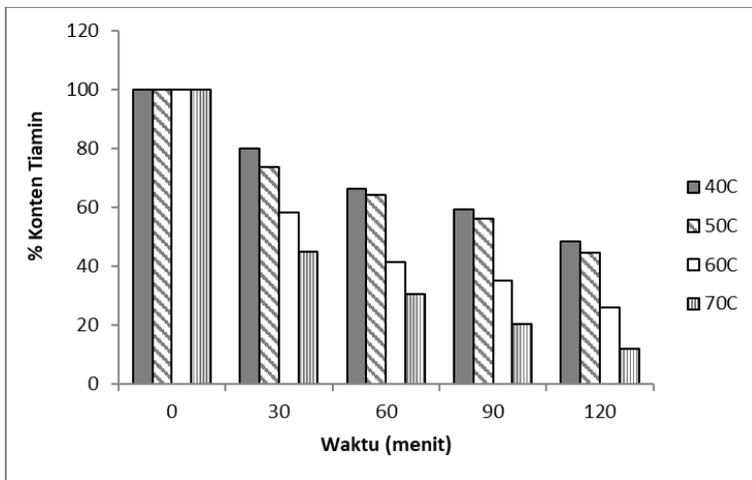
Bawang merah yang telah dikeringkan, yang mengandung thiamin, warna, dan quercetin, telah dievaluasi untuk kandungan bahan aktif. Quercetin adalah salah satu bahan aktif yang paling penting dari semua komponen ini. Kadar quercetin tidak berubah pada suhu operasi antara 40 - 60°C, dengan variasi suhu hanya 1,0% (Gambar 6-14).



Gambar 6-14. Kadar Quercetin Pada Bawang Merah

Tiamin terkenal sebagai vitamin B. Dalam bawang merah kadarnya sangat variatif tergantung dari varietes bawang merah dan lokasi penanamannya. Untuk bawang merah yang digunakan riset ini berasal dari

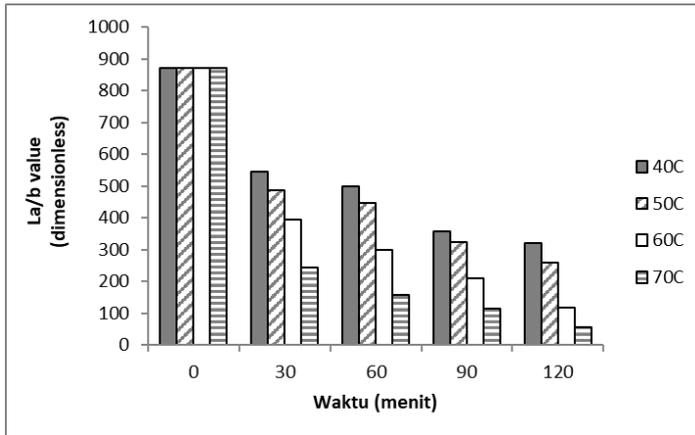
Jawa Tengah (Rembang dan Brebes) dengan kadar Tiamin rata-rata 86.0 mg/100 gram (basis basah). Setelah melalui proses pengeringan selama 120 menit, pada suhu 40°C kadarnya turun menjadi 41.6 mg/100 gram (turun 50%, lihat Gambar 6-15). Sedangkan pada proses dengan suhu 70°C diperoleh kadar 10.31 mg/100 gram (turun kurang lebih 90%, lihat Gambar 21). Oleh karena itu, mengacu pada aspek kualitas tersebut maka proses pengeringan bawang merah harus dilakukan pada suhu rendah dengan waktu yang sesingkat-singkatnya, antara lain dengan meningkatkan laju alir udara atau menurunkan kelembaban udara sebagai media pengering.



Gambar 6-15. Degradasi Thiamin Selama Proses Pengeringan

Pada penelitian ini degradasi warna diamati berdasarkan nilai L, a, dan b (kecerahan, merah dan hijau, serta kuning dan biru, secara berturut-turut). Untuk uji warna diuji dengan standar CIE ILLUMINANT C. Hasil pengukuran berupa perubahan warna total ditunjukkan oleh nilai La/b (Gambar 6-16). Hasil menunjukkan bahwa warna merah berubah cenderung menjadi coklat dengan tingkat kecerahan yang semakin menurun. Kondisi

tersebut dipengaruhi oleh lamanya pengeringan dan suhu pengeringan. Proses pengeringan yang cepat akan mempertahankan mutu warna yang dihasilkan. Sementara itu, kenaikan suhu juga cenderung menurunkan mutu warna yang dihasilkan.

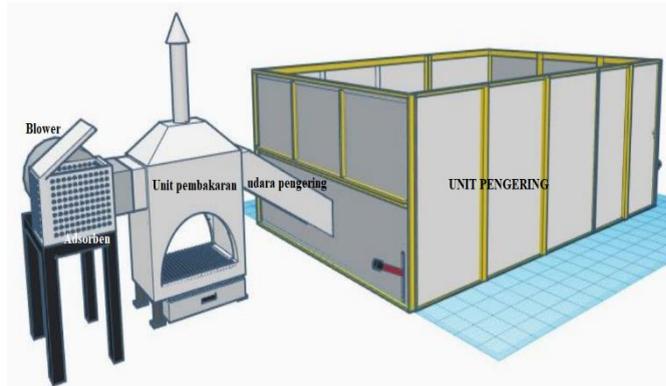


Gambar 6 -16. Degradasi Warna Selama Proses Pengeringan

### Uji coba skala Difusi

*Box dryer* yang didesain khusus (Gambar 6-17) dan dibuat bekerjasama dengan perusahaan CV Raja Pengering, Sidoarjo. Peralatan ini dapat menggunakan sekam (sebagai bahan bakar), arang, kayu, briket atau bahan bakar padat lainnya. Udara luar sebagai media pengering dilewatkan adsorber yang berisi zeolite dengan ditarik blower berkekuatan 2 pK. Akibat kontak dengan zeolite, kelembaban udara mengalami penurunan hingga dapat mendekati nol, yang dapat diukur dengan T-RH buatan Krisbow Indonesia. Udara kering tersebut kemudian dilewatkan burner/furnace berbahan bakar sekam dan arang, sehingga suhunya naik menjadi 45-55°C.

Udara yang hangat ini digunakan untuk proses pengeringan 100 kg bawang merah pada box pengering. Kelembaban udara masuk dan keluar pengering diukur pada setiap rentang waktu tertentu. Setiap waktu 30 menit kadar air diobservasi, demikian juga warna dan kadar nutrisi penting dalam bawang merah juga dilakukan observasi pada suhu tertentu.



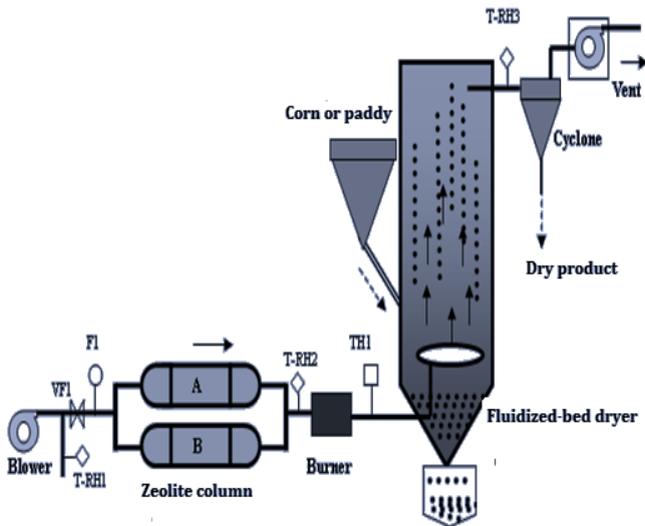
Gambar 6-17. Alat Pengering Bawang Merah (CV Raja Pengering Dan Undip Kerjasama 2019-2021)

Hasil menunjukkan bahwa pengeringan dengan *box dryer* menghasilkan kualitas bawang merah yang lebih baik dan kadar air yang lebih seragam (Gambar 6-17). Proses pengeringan ini juga cukup cepat, dengan penurunan kadar air bawang merah hingga 2-3% dalam waktu empat jam,

yang berarti penurunan kadar air total sebesar 0.5% selama proses pengeringan.

## b.2. Sistem Pengeringan pada Unggun Terfluidisasi

Dengan menggunakan media udara yang didehumidifikasi zeolite, pengeringan telah dilakukan pada unggun yang terfluidisasi (Gambar 6-18). Ketika jagung dan padi dikeringkan, zeolite mengisi udara luar dengan kecepatan linier tertentu. Proses pengeringan dilakukan pada kolom fluidisasi dengan menggunakan udara berkelembaban rendah ini.



Gambar 6-18. Skema Sistem Pengeringan Unggun Terfluidisasi Dengan Zeolite

Hasil menunjukkan bahwa pengeringan padi dari kadar air 25 menjadi 14% membutuhkan dua jam efektif pada suhu operasi 60°C. Kelembaban udara yang lebih rendah dapat mempercepat pengeringan (Djaeni dkk., 2013a). Proses pengeringan jagung juga mengalami fenomena

yang sama (Djaeni dkk., 2013b). Selain itu, hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara waktu sebelum dan sesudah pengeringan jagung (Djaeni dkk., 2013a;2013b). Dengan kata lain, kualitas nutrisi bahan baku dapat dipertahankan. Pada proses pengeringan padi, penggilingan digunakan untuk menguji gabah yang dihasilkan. Tabel 6-3 menunjukkan hasil sifat fisik beras. Hasil menunjukkan bahwa kualitas fisik gabah yang dihasilkan dapat diterima, dan hasil pengeringan dengan sinar matahari selama dua hari terbilang sebanding.

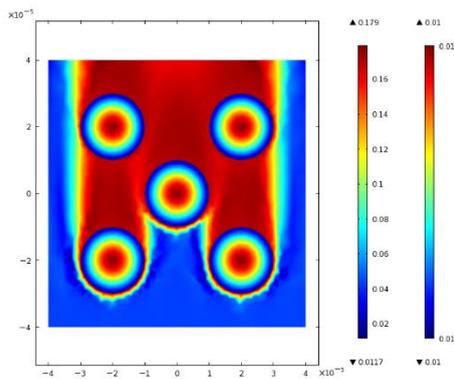
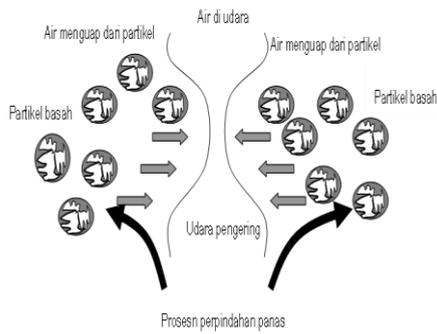
Tabel 6- 3. Sifat Fisik Hasil Pengeringan Berbagai Metode Untuk Beras Dari Gabah (Djaeni dkk., 2013a)

Suhu	Sifat fisik beras						
	<i>Whiteness</i> (keputihan)	Kadar air	Beras Kepala	Beras pecah	Menir	Rusak	<i>Swelling power</i>
40°C	45,3	12,60	80,40	18,87	0,73	1,41	4,20
60°C	45,9	12,30	78,70	19,01	2,29	1,33	3,86
Matahari	45,2	13,20	79,62	19,03	1,36	1,44	4,20
60°C tanpa zeolite	45,2	12,10	65,57	29,87	64,47	1,74	3,62

Pada saat yang sama, uji coba pengeringan padi menggunakan bahan bakar sekam juga telah dilakukan. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi panas pengeringan mencapai 80%, yang merupakan peningkatan 15% dibandingkan dengan pengering konvensional (Djaeni dkk., 2013a). Ini menunjukkan bahwa sistem pengering unggun terfluidisasi dengan bahan bakar sekam yang bernilai positif harus dibuat. Dengan potensi panas 14–15 MJ/kg sekam, panas ini setara dengan nilai panas penguapan 6 kg air.

### **b.3. Sistem *Spray Dryer* - Pengering Semprot**

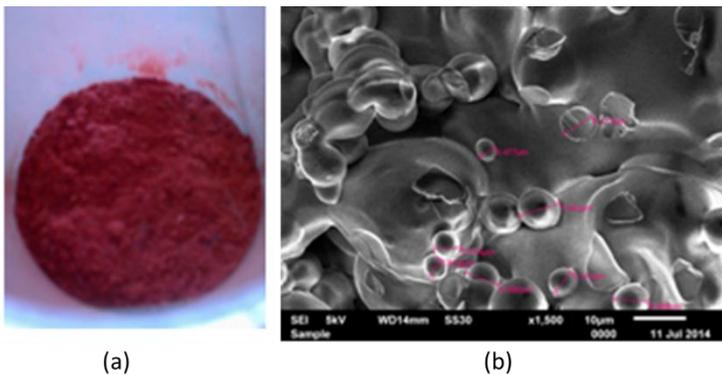
Selain itu, telah dikembangkan metode pengeringan model semprot yang menggunakan media udara yang didehumidifikasi zeolite (Gambar 6-19). Pada proses pengeringan ini, *nozzle* digunakan untuk menyemprot cairan basah atau larutan melalui pompa atau tekanan udara. Cairan ini akan menyembur dari lubang-lubang kecil, menciptakan titik halus. Saat itu terjadi, udara dialirkan ke kolom pengering. Selama proses ini, panas yang sensitif akan menguapkan air dari bahan ke udara. Butiran pekat mengkristal atau memadat menjadi debu atau partikel karena air menguap terbawa udara (Gambar 6-19). Untuk menghitung waktu pengeringan efektif, pengering model semprot telah disimulasikan untuk mengukur distribusi air dan suhu udara. Penyebaran uap air selama proses pengeringan semprot disajikan pada Gambar 6-19.



Gambar 6-19. Sistem Pengering Model Semprot (Spray Dryer) Dan Fenomenanya

Proses pengeringan model semprot ini telah dicoba untuk ekstrak karaginan, bunga rosela, dan kayu secang. Karaginan adalah bahan aditif yang dibuat dari rumput laut, dan kayu secang adalah tanaman polong-polongan yang dapat digunakan sebagai obat tradisional, minuman, atau pewarna alami yang mengandung brazilin sebagai bahan aktifnya. Ekstrak rosela mengandung banyak vitamin C dan antosianin, yang keduanya berfungsi sebagai antioksidan yang bermanfaat.

Hasil menunjukkan bahwa pengering semprot dapat mempertahankan kualitas produk dengan sukses. Adanya aglomerasi (penggumpalan) produk, yang mengharuskan bahan penyalut. Untuk mengurangi kelengketan kayu secang, ekstrak ditambahkan maltodekstrin. Hasil menunjukkan bahwa partikel ekstrak dapat terbentuk dan aglomerasi dapat dihindari (Gambar 6–20, bagian a dan b). Proses pengeringan terjadi tidak hanya pada suhu rendah, tetapi juga pada suhu di atas 100°C. Pada suhu tinggi, proses ini berjalan sangat cepat, menyebabkan ukuran kristal yang lebih kecil (Djaeni et al., 2015c).



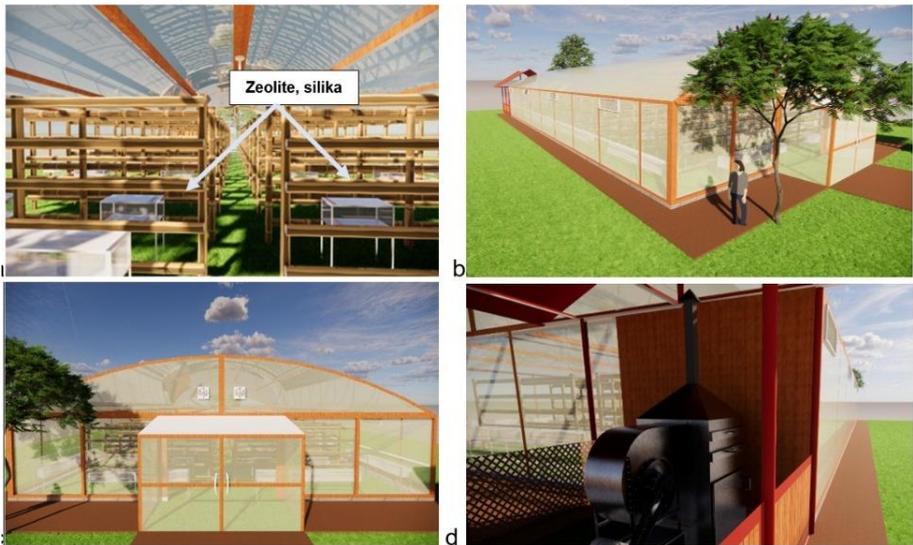
Gambar 6-20. Produk Serbuk Pasca Ekstrak Kayu Secang Dikeringkan Secara Semprot (a), dan Penampikan Produk Melalui Uji SEM (b)

## **SISTEM PENGERING DENGAN DEHUMIDIFIKASI UDARA MODEL HYBRID SURYA-BIOMASA**

Sistem pengering menyita banyak energi, untuk menguapkan air dari produk. Mahalnya bahan bakar minyak dan kurang efisiennya proses, menyebabkan hampir semua produk pertanian mengandalkan energi matahari sebagai sumber energi yang murah. Namun demikian, model pengeringan ini, akan sangat tergantung pada cuaca, baik kualitas produk maupun kontinuitas prosesnya. Oleh karena itu, perlu didesain sistem pengeringan yang murah dan fleksibel dari sisi sumber panasnya. Salah satu opsinya adalah model sumber energi hybrid surya-biomasa. Sistemnya adalah sumber pemanas bisa menggunakan sinar matahari saat cuaca cerah. Sedangkan pada cuaca tidak memungkinkan bisa diganti dengan sumber pemanas dari pembakaran biomasa yang ada di sekitar area pertanian (arang, sekam, tongkol jagung), atau menggunakan limbah sisa tanaman yang sudah kering. Proses pengeringan ini tetap menggunakan media udara berkelembaban rendah melalui dehumidifikasi dengan zeolite-silika yang diletakkan dalam ruang pengering.

Pada proses ini, udara luar sebagai media pengering dialirkan dengan blower untuk dipanaskan pada tungku yang berbahan bakar biomasa (limbah pertanian, arang, limbah batang dan daun kedelai, tongkol jagung atau sekam padi). Keluar dari unit pemanas, udara ini digunakan untuk mengeringkan kedelai basah yang baru dipanen (masih ada batang dan daunnya) yang diletakkan pada rak-rak, hingga mencapai kadar air 12-14%. Bagian dalam pengering dilengkapi dengan kotak-kotak kasa, yang berisi

adsorben uap air (zeolite-silika), sehingga kelembaban udara dalam ruang pengering dijaga tetap rendah. Dengan cara ini, proses pengeringan menjadi lebih cepat dan efektif. Pada saat cuaca cerah, tungku pemanas tidak difungsikan, dan proses pengeringan menggunakan sinar matahari yang mampu menembus atap dan dinding pengering yang transparan. Dengan demikian, kontinuitas pengeringan kedelai dapat terjaga (Gambar 6-21).



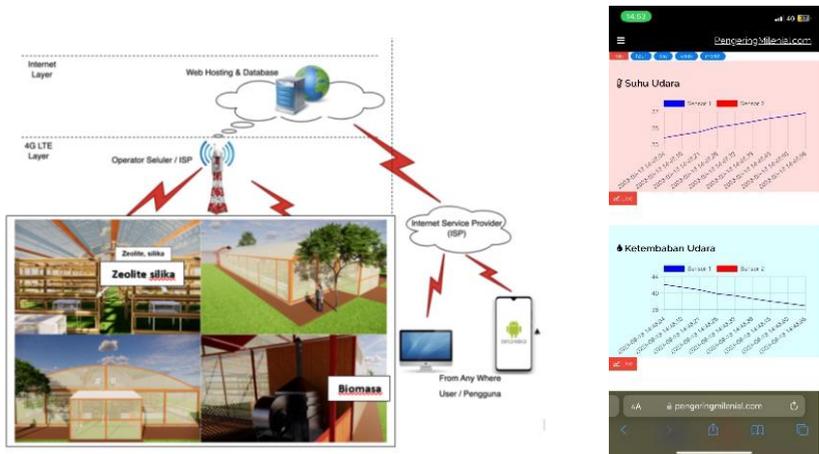
Gambar 6-21. Sistem pengering hybrid surya-biomasa dengan media udara berkelembaban rendah

## SISTEM PENGERING MODEL HYBRID SURYA-BIOMASA GENERASI 4.0

Untuk meningkatkan fleksibilitas operasional, sistem pengering hybrid Surya-Biomasa yang efisien berbasis Internet of Things (IoT) layak dikembangkan. Pada cuaca cerah, sistem ini akan memanfaatkan energi matahari untuk mengeringkan bahan. Sedangkan pada cuaca yang tidak memungkinkan atau malam hari, proses pengeringan dilanjutkan

menggunakan panas dari pembakaran biomasa (gergajian kayu, sekam/arang atau limbah tanaman kering). Model sistem shift ini, dilakukan secara otomatis dengan bantuan sensor elektronik yang dapat dikendalikan secara online/gadget, sehingga proses operasi menjadi fleksibel.

Sebagai sumber listrik, digunakan sel surya dimana listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai, untuk menggerakkan blower, menghidupkan sensor, dan perangkat lainnya yang diperlukan. Untuk meningkatkan driving force pengeringan, media udara dalam ruang pengering juga diturunkan kelembabannya secara kontinyu dengan zeolite dan silika, sehingga proses pengeringan bahan menjadi lebih cepat dan efisien (Gambar 6-22).



Gambar 6-22. Model Sistem pengering dengan hybrid dilengkapi dehumidifikasi udara (Kerjasama Universitas Diponegoro & Politeknik Negeri Semarang):

<https://pengerimgilenial.com/>

## REFERENSI

1. Asiah, N., Djaeni, M. 2015. Multi-layer onion drying: Study of mass and heat transfer mechanism and quality evaluation. *AIP Conf. Proc.*, 1699: Article 060005.
2. Asiah, N., & Djaeni, M. 2021. *Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan*. AE Publishing, Malang.
3. Djaeni, M., Bartels, P.V., Sanders, J., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2007a. Process integration for food drying with air dehumidified by zeolites. *Drying Technology*, 25(1): 225 – 239.
4. Djaeni, M., Bartels P.V., Sanders J.P.M., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2007b. Multistage Zeolite Drying for Energy-Efficient Drying. *Drying Technology*, 25 (6): 1063 – 1077.
5. Djaeni, M., Bartels P.V., Sanders J.P.M., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2008. Computational fluid dynamic for multistage adsorption dryer design. *Drying Technology*, 26 (4): 487 – 502.
6. Djaeni, M., Bartels P.V., Sanders J.P.M., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2009a. Energy efficiency of multistage adsorption drying for low temperature drying. *Drying Technology*, 27(4): 555 – 564.
7. Djaeni, M., Bartels P.V., van Asselt, C.J., Sanders J.P.M., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2009b. Assessment of a Two-Stage Zeolite Dryer for Energy Efficient Drying. *Drying Technology*, 27(11): 1205 – 1216.
8. Djaeni, M., Bartels P.V., van Asselt, C.J., Sanders J.P.M., van Straten, G., van Boxtel, A.J.B. 2011. Low temperature drying with air dehumidified by zeolite for food product: Energy efficiency aspect analysis. *International Journal of Food Engineering*, 7(6): Article 4.

9. Djaeni, M., Sasongko, S.B., Prasetyaningrum, A., Jin, X., van Boxtel, A.J. 2012. Carrageenan drying with dehumidified air: Drying characteristics and product quality. *International Journal of Food Engineering*, 8(3): Article 32.
10. Djaeni, M., Ayuningtyas, D., Asiah, N., Hargono, H., Ratnawati, Jumali, Wiratno. 2013a. Paddy drying in mixed adsorption dryer with zeolite: drying rate and time estimation. *Reaktor*, 14(3): 173 – 178.
11. Djaeni, M., Asiah, N., Nissaulfasha, H., Buchori, L. 2013b. Corn drying with zeolite in the fluidized bed dryer under medium temperature. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 24(2): 1 – 6.
12. Djaeni, M., Anggoro, D., Santosa, G.W., Agustina, D., Asiah, N., Hii, C.L. 2014. Enhancing the food product drying with air dehumidified by zeolite. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 6(7): 833 – 838.
13. Djaeni, M. dan Agustina, D. 2015. Low temperature seaweed drying using dehumidified air. *Procedia Environmental Sciences*, 23: 2 – 10.
14. Djaeni, M., Prasetyaningrum, A., Sasongko, S.B., Widayat, W., Hii, C.L. 2015a. Application of foam-mat drying with egg white for carrageenan: drying rate and product quality aspects. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2): 1170 – 1175.
15. Djaeni, M., Asiah, N., Suherman, S., Sutanto, A., Nurhasanah, A. 2015b. Energy efficient dryer with rice husk fuel for agriculture drying. *International Journal of Renewable Energy Development*, 4: 20 – 24.
16. Djaeni, M, Triyastuti, M.S., Asiah, N., Annisa, A.N., Novita, D.A. 2015c. The effect of air temperature on the sappan wood extract drying. *AIP Conf. Proc.*, 1699: Article 060006.

## BIODATA PENULIS

**Nurul Asiah, ST, MT** adalah dosen tetap dan peneliti di Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Bakrie sejak 2016. Menyelesaikan pendidikan Strata 1 dan Magister Teknik Kimia di Universitas Diponegoro dengan topik penelitian di bidang Teknologi Proses Pengolahan Pangan,



khususnya pengeringan bahan pangan. Fokus bidang ajar dan penelitiannya meliputi Rekayasa Proses dan Teknologi Pengolahan Pangan. Hasil penelitiannya telah banyak dipublikasikan pada seminar akademik dan diterbitkan oleh berbagai Jurnal nasional maupun Internasional dalam bentuk artikel ilmiah maupun buku ajar, buku referensi dan monograf. Unit Proses Pengeringan Pangan adalah salah satu bidang ilmu yang dipelajari, diteliti dan diajarkannya.

Webpage : <https://www.bakrie.ac.id/en/nurul-asiah-s-t-m-t>

E-mail : [nurul.asiah@bakrie.ac.id](mailto:nurul.asiah@bakrie.ac.id)



**Ir. Dessy Agustina Sari, S.T., M.T., IPM.** Dilahirkan di kota Bandar Lampung provinsi Lampung pada 09 Agustus 1988. Profesi sebagai dosen pada Universitas Singaperbangsa Karawang sejak semester Ganjil

tahun 2015. Gelar S-1 bidang Teknik Kimia diraih di Universitas Lampung (dengan penelitian berkaitan pereduksian gas CO<sub>2</sub> menggunakan mikroalga), dan gelar S-2 pada Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang, Jawa Tengah (tentang pengeringan rumput laut dan bagian dari tim kegiatan pengabdian bagi masyarakat kepulauan Karimunjawa). Kedua latar pendidikan tersebut memberikan spirit dan ruh keteknikimiaan dalam melaksanakan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Selain itu, tugas tambahan juga diemban pada 2018-2022 dan membawa prestasi sebagai Juara 2 Koordinator Program Studi Sarjana. Hasil ini merupakan salah satu rangkaian dari pengaplikasian pemrosesan bahan pangan pasca panen dalam meningkatkan mutu dan umur simpan produk. Maka, penulisan bersama terkait konsep proses pengeringan juga merupakan bagian ilmu pengajaran dalam menerapkan prinsip Operasi Teknik Kimia.

E-mail : [dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id](mailto:dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id)

**Meilya Suzan Triyastuti, ST., MT.** Lahir di Karanganyar dari pasangan keluarga Mangkunegaran dan Aparatur Sipil Negara yang sederhana merupakan putri dari alm Ibu Endang Sri Sumarni dan Bapak Santoso. Penulis merupakan dosen tetap di Politeknik Kelautan



dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan. Pada tahun 2014 penulis menyelesaikan pendidikan Strata 1 (S1) di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta Program Studi Teknik Kimia. Pada tahun 2016 berkesempatan untuk menempuh dan menyelesaikan Program Studi Magister (S2) Teknik Kimia di Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Sebelum menjadi dosen di Politeknik Kelautan dan Perikanan, penulis sejak tahun 2017 bekerja sebagai dosen di Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani. Penulis saat ini adalah Sekretaris di PPPM dan juga aktif menjadi pengelola Jurnal Bluefin Fisheries Politeknik Kelautan dan Perikanan Bitung pada tahun 2019 sampai dengan sekarang, baik sebagai editor maupun reviewer diluar. Dalam mengembangkan keilmuan dan pengalamannya, penulis banyak terlibat dalam berbagai penelitian dan pengabdian masyarakat serta telah memiliki berbagai publikasi ilmiah dalam jurnal nasional terakreditasi maupun internasional. Kajian yang menjadi ketertarikan penulis adalah teknik pengeringan pada nutrisi sumber daya perikanan dan kelautan. Bidang penelitian dan pengajaran penulis adalah teknik pengolahan produk perikanan dan kelautan.

email : [meilya.triyastuti@kkp.go.id](mailto:meilya.triyastuti@kkp.go.id)



**Prof. Dr. Ir. Mohamad Djaeni, ST, M.Eng, IPM** Terlahir di Kebumen, Jawa Tengah pada tanggal 7 Pebruari 1971. Mohamad Djaeni meniti karir sebagai dosen pada Universitas Diponegoro sejak meraih gelar S1 bidang Teknik Kimia tahun 1995. Pada tahun 2000, dia mendapatkan gelar Master of Engineering Bidang Pengendalian Proses

UTM Malaysia. Pada tahun 2004-2008, dia menempuh pendidikan S3 di Wageningen University, Belanda dan meraih gelar Doktor bidang *Sistem and Process Control* bidang *Energy Efficient Food Drying*. Latar belakangnya di bidang Teknik Kimia sangat mempengaruhi ide dan gagasannya. Ilmu-ilmu Teknik Kimia, yang terdiri dari fenomena perpindahan, adsorpsi, desorpsi, kinetika reaksi, proses dan produk desain, berhasil ditransformasikan menjadi suatu inovasi di bidang teknologi pengeringan untuk peningkatan mutu bahan pangan. Muncullah, multistage *adsorption drying*, *mixed adsorption drying*, dan dehumidifikasi udara untuk menurunkan kelembaban udara sebagai media pengering. Keunggulan inovatifnya proses pengeringan dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah, secara cepat dan efisien. Dengan suhu yang lebih rendah, tekstur, kandungan bahan aktif dan nutrisi pangan, menjadi lebih terlindungi selama pengeringan.

E-mail : moh.djaeni@live.undip.ac.id

Peralatan



# PENGERING PANGAN

Pengeringan merupakan salah satu teknologi pengawetan pangan yang sudah lama diaplikasikan oleh manusia. Mulai dari pengeringan sederhana dengan memanfaatkan energi matahari, hingga saat ini telah berkembang berbagai peralatan pengering mekanis yang canggih. Perkembangan teknologi memungkinkan berbagai jenis pilihan peralatan pengering pangan. Buku ini akan membahas tentang prinsip kerja, aplikasi, karakteristik produk hingga kelebihan dan kekurangan berbagai peralatan pengering pangan. Adapun jenis peralatan yang akan dibahas meliputi pengering dengan memanfaatkan energi matahari (*sun dryer dan solar dryer*), *cabinet/try dryer*, *fluidized bed dryer*, *spray dryer*, *freeze dryer* dan perkembangan pengering dengan menggunakan udara berkelembapan rendah. Memahami prinsip kerja, desain peralatan, aplikasi, kelebihan dan kekurangan peralatan tersebut membantu kita dalam menentukan jenis peralatan pengering yang tepat untuk jenis bahan pangan yang akan dikeringkan. Pemilihan peralatan pengering yang tepat akan bermanfaat untuk mempertahankan mutu produk kering yang dihasilkan. Selain itu, proses pengeringan juga akan menjadi lebih efektif, efisien dan ekonomis.

 **BINTANG**  
SEMESTA MEDIA

Jl. Karang Sari, Gg. Nakula, Sleman, Yogyakarta 57773  
Telepon: (0274) 4350369 WA: 0850 6554 2317  
Email: redaksi@bintangpustaka@gmail.com  
Website: bintangpustaka.com



ISBN 978-623-190-516-1

