

KONSEP DASAR

PROSES PENGERINGAN PANGAN



PENULIS :

NURUL ASIAH, MOHAMAD DJAENI

ILUSTRATOR : ORIZA VIOLINAR HARRY

KONSEP DASAR PROSES PENGERINGAN PANGAN

**Nurul Asiah
Mohamad Djaeni**



AE Publishing

KONSEP DASAR PROSES PENGERINGAN PANGAN

--Malang: AE Publishing

vi + 63 halaman, 17,6 x 24,99 cm

Cetakan Pertama, Agustus 2021

Penulis : Nurul Asiah
Mohamad Djaeni

Editor Bahasa : Nurenik

Ilustrator : Oriza Violinar Harray

Diterbitkan Oleh:



Anggota IKAPI (240/JTI/2019)
Jln. Banurejo B no.17 Kapanjen
HP : 081231844977 / 085103414877
Email : publishing.ae@gmail.com
<http://aepublishing.id>

ISBN: 978-623-306-469-9

Kutipan Pasal 72 terkait Ketentuan Pidana Undang-Undang Republik Indonesia
Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta:

- (1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagai-mana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
- (2) Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

KATA PENGANTAR



Menulis adalah cara terbaik untuk mengingat dan mempertahankan apa yang pernah kita ketahui

Alhamdulillah, segala pujian dan ungkapan syukur kami haturkan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan petunjuk-Nya kami telah menyelesaikan buku yang berjudul **“Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan”**. Buku ini hadir sebagai bentuk rasa syukur atas pengetahuan yang Allah titipkan, bentuk terimakasih pada orang tua dan keluarga yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis dalam menuntut ilmu serta bagian dari cara menjaga dan menyebarkan ilmu yang telah diwariskan dari para guru dan pendidik yang mengajarkan ilmunya bagi penulis.

Buku ini memberikan catatan sederhana tentang sejarah singkat teknologi pengeringan, prinsip dasar proses pengeringan, air dalam matrik pangan, metode dan peralatan pengering, laju pengeringan, mutu produk hasil pengeringan dan sekilas tentang penerapan prinsip kesetimbangan massa dan energi pada sistem pengering. Buku ini dibuat dengan **bahasa dan tampilan yang sesederhana mungkin** dengan menambahkan ilustrasi gambar yang menarik, sehingga mempermudah proses pemahaman. Gambar-gambar yang ditampilkan pada buku ini sebagian menggunakan *Premium Freepik License* (sudah mendapat izin untuk modifikasi dan untuk penggunaan *commercial and personal projects*) dan dari berbagai referensi yang tertera pada Daftar Pustaka.

Kami menyadari bahwa buku ini masih **jauh dari sempurna**. Kami sangat terbuka untuk saran dan kritik demi pengembangan yang lebih baik. Semoga catatan sederhana ini **bisa menambah khasanah ilmu dan pemahaman** bagi para pembaca.

Jakarta, Agustus 2021

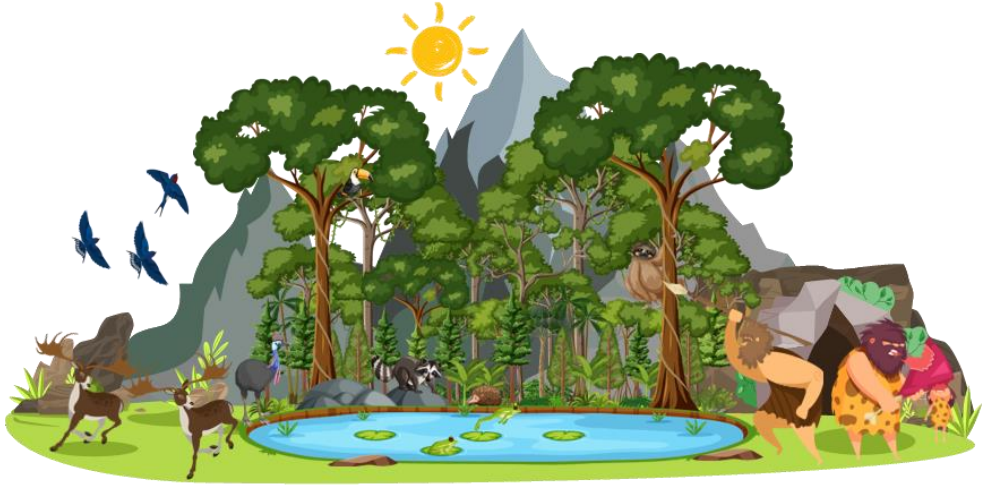
Penulis

DAFTAR ISI



KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
SEJARAH SINGKAT TEKNOLOGI PENGERINGAN	1
PRINSIP DASAR PROSES PENGERINGAN	5
AIR DALAM MATRIK PANGAN	8
METODE DAN PERALATAN PENGERINGAN	20
LAJU PENGERINGAN	35
MUTU PRODUK HASIL PENGERINGAN	41
KESETIMBANGAN MASSA DAN ENERGI PADA SISTEM PENGERING	47
REFERENSI	57

SEJARAH SINGKAT TEKNOLOGI PENGERINGAN



Pangan dan kehidupan adalah dua hal yang hampir tidak bisa dipisahkan. Perkembangan teknologi proses pengolahan pangan tidak lepas dari sejarah perkembangan peradaban manusia. Sebelum mengenal sistem pertanian, nenek moyang kita memenuhi kebutuhan pangan mereka dari berbagai jenis tanaman dan hewan buruan. Pada zaman itu, mendapatkan makanan bukanlah hal yang mudah. Cuaca dan kondisi alam yang berubah-ubah membuat para hewan buruan bermigrasi ke lembah atau sungai yang subur dan memaksa mereka hidup berpindah-pindah mengikuti kemana hewan-hewan itu pergi. Manusiapun menyadari bahwa tempat yang subur tidaklah banyak dan mereka mulai berpikir bagaimana bisa bertahan dan hidup menetap dilembah tersebut tanpa mengalami kekurangan makanan. Merekapun mulai menerapkan cara baru dengan bercocok tanam dan beternak. Manusia juga mulai menggunakan api untuk memasak makanan mereka.

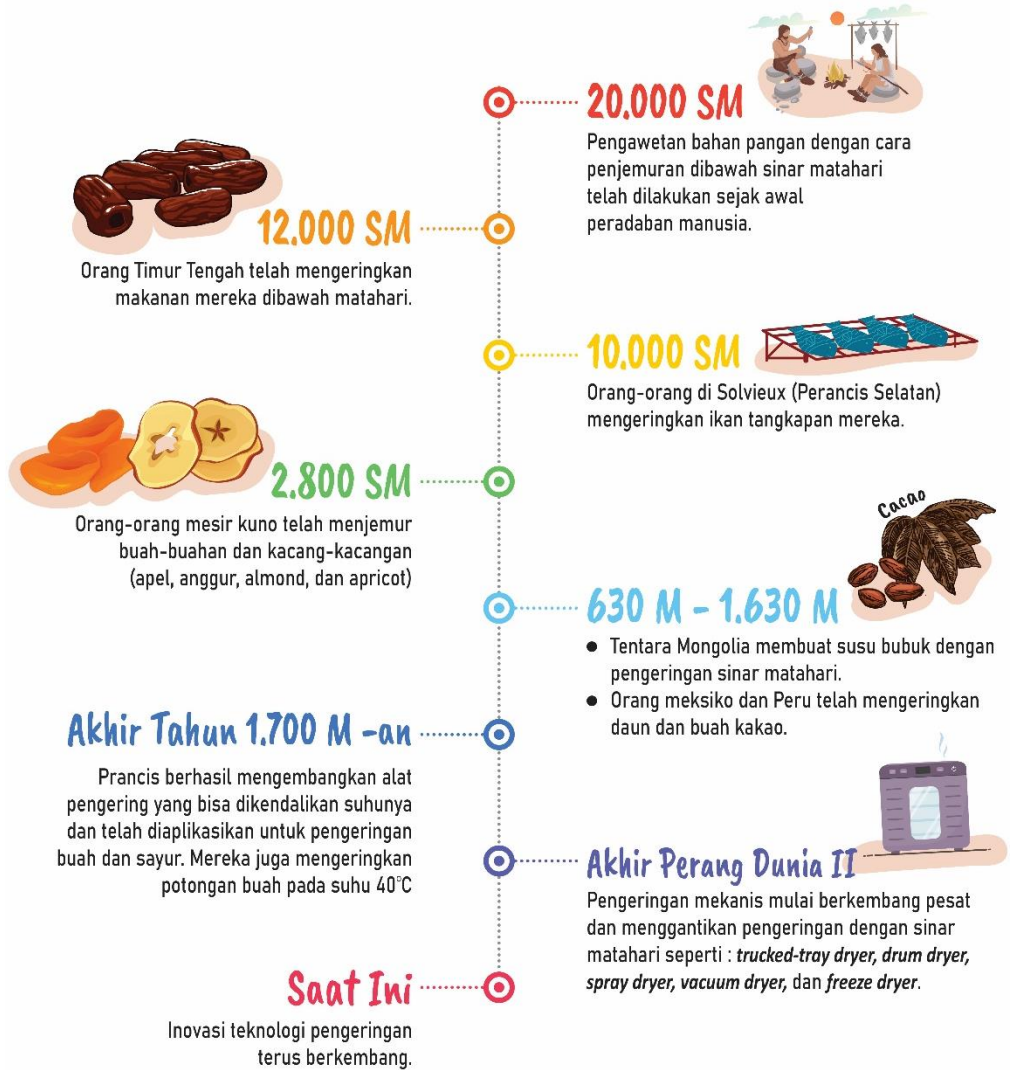
Para sejarawan tidak tau persis kapan dan bagaimana manusia mulai mengenal api. Ada yang menyatakan bahwa manusia melihat api berasal dari petir yang menyambar tanaman atau hewan lalu membakarnya. Pada saat itu manusia melihat api sebagai fenomena alam yang menakutkan namun juga menakjubkan. Entah bagaimana, rasa ingin tau membuat manusia berhasil mengendalikan api pada

sekitar 200.000 hingga 1.000.000 tahun yang lalu. Pengetahuan ini menjadi lompatan besar dalam sejarah peradaban manusia. Mereka menyadari api sebagai sumber panas sekaligus sebagai sumber cahaya. Selanjutnya manusia mulai menggunakan api untuk membuka lahan hutan, menjauhkan hewan pemangsa, memanfaatkan sebagai penerang, untuk membuat gerabah dan untuk memasak makanan. Hal ini diperkuat dengan informasi bahwa manusia telah mulai memasak daging buruan sejak 500.000 SM. Selain itu, manusia tidak hanya memasak bahan pangan mereka dengan api langsung, mereka juga mulai memasak dalam air mendidih.



Pada awal kehidupan masyarakat sebagai petani, manusia hidup dalam kelompok kecil dan memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Ketersediaan pangan dialam yang tidak pasti jumlahnya juga membuat manusia kembali berpikir bagaimana menyimpan dan mengawetkan persediaan pangan mereka saat melimpah. Panas dari sinar matahari dan laju udara dari gerakan angin menjadi dua komponen alam yang dimanfaatkan manusia dalam teknik pengawetan pangan. Sejak 20.000 SM manusia telah mengenal pengeringan dengan sinar matahari untuk mengeringkan pangan mereka. Berdasar berbagai sumber, pada zaman batu tua (20.000 SM-10.000 SM) manusia mulai mengeringkan daging di sekitar sungai Don (Moscow Selatan-Rusia). Pada 12.000 SM masyarakat Timur Tengah dan masyarakat Asia Timur mulai mengeringkan daging dan ikan dengan sinar matahari. Selanjutnya masyarakat Mesir Kuno pada sekitar 2.800-2.300 SM juga telah mengeringkan berbagai macam buah dan kacang, seperti: apel, anggur, dan almond. Pada 500 SM manusia juga sudah

mengenal cara membuat garam dengan menguapkan air laut dibawah sinar matahari.



Aplikasi metode pengeringan dengan sinar matahari terus berkembang di beberapa negara untuk pengeringan berbagai macam jenis pangan, baik ikan, kerang, daging, susu, rumput laut, sereal, buah dan sayur. Setelah mengaplikasikan metode pengeringan dengan sinar matahari selama beberapa periode, manusia kembali menyadari bahwa metode pengeringan tersebut memiliki berbagai kekurangan, seperti waktu yang lama dan kualitas produk yang tidak bisa ditentukan dengan tepat sesuai yang diinginkan.

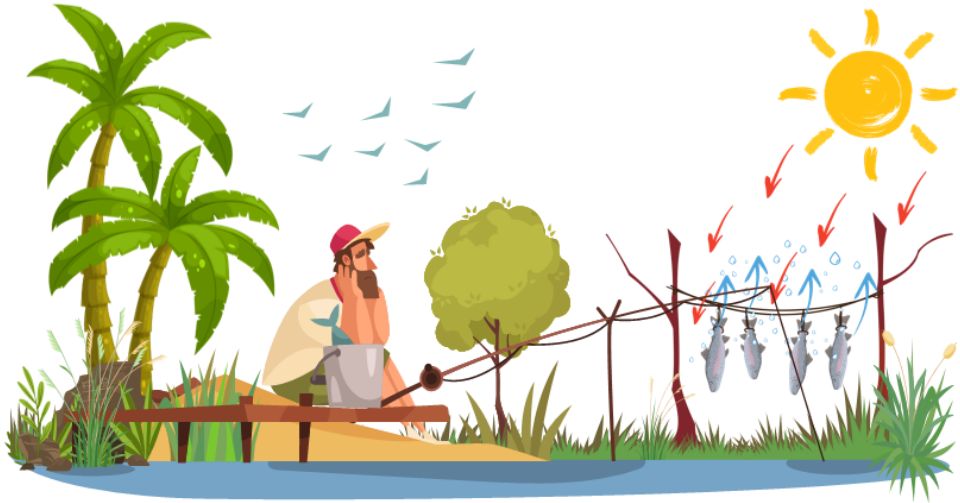


Dengan akalny, manusia belajar banyak dari sejarah dan kembali membuat inovasi pengeringan mekanis yang bisa dikendalikan suhunya. Hingga pada akhir perang dunia II pengembangan teknologi dan peralatan dibidang pengeringan pangan mengalami masa paling cemerlang. Berbagai peralatan pengeringan mekanis ditemukan dan berhasil menggantikan pengeringan dengan sinar matahari seperti: *trucked-tray dryer*, *drum dryer*, *spray dryer*, *vacuum dryer*, dan *freeze dryer*. Meskipun proses pengeringan sangat kompleks, pengembangan teknologi pengeringan tidak lepas dari 3 hal pokok yaitu laju pengeringan, energi pengeringan dan mutu produk akhir.

- ✓ **Laju pengeringan:** Semakin cepat proses pengeringan semakin minimum biaya dan kemungkinan penurunan mutu produk.
- ✓ **Energi pengeringan:** Konsumsi energi diupayakan seminimum mungkin dengan sumber energi yang bisa diperbaharui.
- ✓ **Mutu produk akhir:** Mutu produk kering, baik dari mutu fisik, kimia dan sensori diharapkan tidak banyak berkurang dan mendekati mutu segarnya.



PRINSIP DASAR PROSES PENGERINGAN



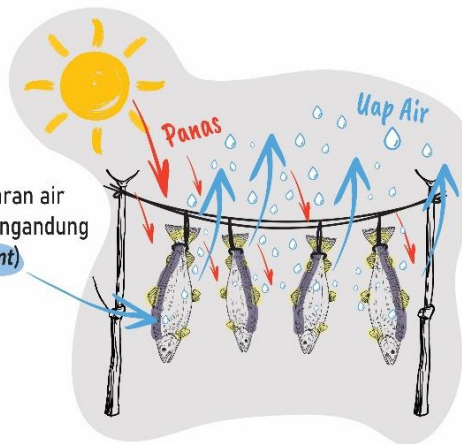
Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan alami dan paling tua yang dilakukan dengan cara menguapkan sejumlah air dari pangan basah dengan bantuan panas. Berkurangnya kadar air juga akan menyebabkan turunnya nilai aktivitas air (A_w). Nilai A_w yang rendah akan menghambat potensi pertumbuhan mikroorganisme, menginaktivasi enzim dan mencegah berbagai potensi reaksi kimia dan biokimia penyebab penurunan mutu pangan. Dengan demikian pangan yang dikeringkan akan lebih stabil dan memiliki umur simpan lebih lama. Metode pengeringan juga bisa dipilih sebagai metode pengawetan yang tepat khususnya jika tidak tersedia ruang penyimpanan dingin atau terdapat kendala terbatasnya kapasitas penyimpanan. Hal ini karena proses pengeringan akan membuat bahan mengalami susut massa dan susut volum, dengan demikian produk kering hanya membutuhkan ruang penyimpanan yang relatif lebih kecil.

Pada praktiknya, proses pengeringan terdiri dari dua tahapan yaitu penyiapan media pengering (udara) dan proses pengeringan bahan. Penyiapan media pemanas dapat dilakukan melalui pemanasan udara dengan menggunakan sumber panas baik alam (matahari, panas bumi) atau buatan (listrik, pembakaran kayu, arang, sekam padi, batubara, gas alam, bahan bakar minyak, gelombang mikro maupun dari medan

magnet). Media pemanas (udara) yang telah dipanaskan tersebut, selanjutnya digunakan untuk menguapkan air dari bahan dengan memanfaatkan panas sensibel (panas untuk menaikkan suhu tanpa mengubah fase) dan panas laten (panas untuk mengubah fase/menguapkan air). Jika dilihat secara mikroskopis, selama proses pengeringan terdapat fenomena perpindahan panas dan massa yang terjadi secara simultan yaitu: perpindahan panas dari media pengering ke bahan dan perpindahan massa air dari bahan ke media pengering.

• Definisi

Pengeringan adalah proses pemisahan/pengeluaran air dari matrik pangan yang mengandung sejumlah air (*moisture content*) dengan introduksi panas.



• Aplikasi

Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan tertua (sejak zaman primitif). Pengeringan digunakan untuk pengawetan ikan dan daging.



• Tujuan

Berkurangnya air pada matrik pangan juga akan menurunkan Aw (*activated water*).

Pada nilai Aw tertentu mikro organisme penyebab kebusukan/penurunan mutu tidak akan tumbuh, reaksi non-enzimatis terhambat dan enzim menjadi tidak aktif.

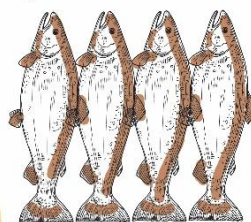
Pangan menjadi lebih stabil

Umur simpan produk menjadi lebih lama



(Pengeringan Ikan Segar)

moisture content turun



(Ikan Kering)

• Manfaat

Massa dan Volume produk berkurang

Meningkatkan Efisiensi :

1. Pengemasan
2. Penyimpanan
3. Distribusi

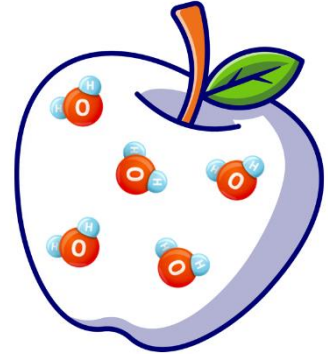


PERPINDAHAN PANAS DAN PERPINDAHAN MASA PADA PROSES PENGERINGAN TERJADI SECARA SIMULTAN



AIR DALAM MATRIK PANGAN

Air adalah bahan yang unik di semua sistem termasuk keberadaan air dalam pangan. Salah satu komponen terbesar dalam matrik pangan adalah air, dimana air memberikan dampak yang signifikan terhadap sifat/karakteristik dan stabilitas pangan. Matrik pangan memiliki interaksi dengan air dalam berbagai bentuk.



Menurut derajat keterikatan air, air terikat dapat dibagi atas empat tipe. **Tipe I**, yaitu molekul-molekul air yang terikat pada molekul-molekul lain (selain air) melalui ikatan ionik yang berenergi besar. Air tipe ini tidak dapat membeku pada proses pembekuan, tetapi sebagian air ini dapat dihilangkan dengan cara pengeringan biasa. Hanya saja dibutuhkan energi yang besar untuk mengeluarkan air tipe ini. Selain itu, air tipe ini memiliki sifat terikat kuat dan seringkali disebut air terikat. **Tipe II**, yaitu molekul-molekul air membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lainnya. Jenis air ini terdapat pada mikrokapiler dan sifatnya agak berbeda dengan air minum. Air ini lebih sukar dipisahkan. Apabila air tipe II dipisahkan dari matrik pangan maka akan mengakibatkan penurunan nilai A_w (*water activity*). Jika air tipe II dihilangkan seluruhnya, maka kadar air bahan akan berkisar antara 3 – 7%. Dengan demikian kestabilan optimum bahan pangan akan tercapai, kecuali pada produk-produk yang dapat mengalami oksidasi akibat adanya kandungan lemak tidak jenuh. **Tipe III**, yaitu molekul-molekul air yang secara fisik terikat dalam jaringan – jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat, dan lain – lain. Air tipe ini seringkali disebut dengan air bebas, mudah diuapkan dan dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba dan media bagi reaksi-reaksi kimia. Apabila air tipe ini diuapkan seluruhnya, kadar air bahan berkisar 12 – 25% dengan A_w berkisar 0,8% bergantung pada jenis bahan dan suhu. **Tipe IV**, yaitu molekul-molekul air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan atau air murni, dengan sifat-sifat air biasa dan keaktifan penuh.

KEBERADAAN AIR PADA PANGAN

Sejumlah air yang terdapat didalam pangan disebut

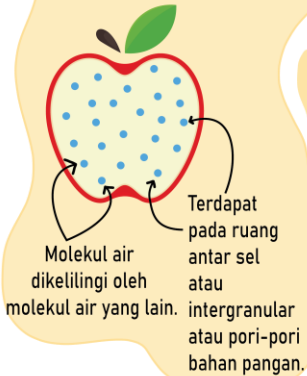
Moisture Content / Kadar Air

• Peran air pada pangan :

1. Pelarut universal (untuk garam, vitamin, gula, gas, pigmen, dll).
2. Sebagai pengion
3. Sebagai pereaktan (hidrolisis)
4. Penstabil koloid melalui hidrasi
5. Mempengaruhi tekstur
6. Syarat pertumbuhan mikroorganisme

AIR BEBAS

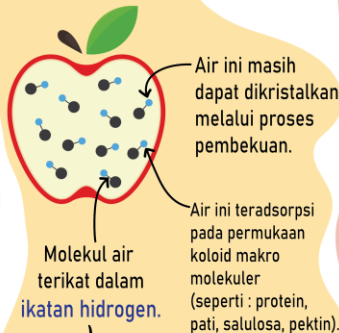
Digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme (*Water Activity*)



AIR TERIKAT

Digunakan untuk menghidrasi molekul hidrofilik dan melarutkan zat terlarut.

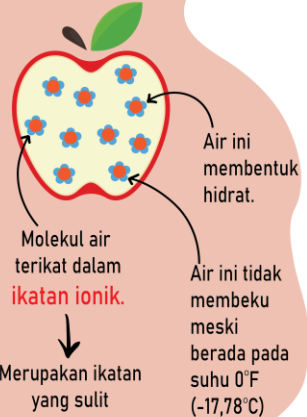
Air Terikat Lemah



Merupakan ikatan yang mudah untuk diputus.

Energi/panas untuk pemutusan ikatan relatif rendah.

Air Terikat Kuat



Merupakan ikatan yang sulit dipisahkan.

Butuh energi/panas yang besar untuk pemutusan ikatan.





Mengapa pangan dengan kadar air yang hampir sama bisa memiliki umur simpan yang berbeda signifikan



Kadar air ~87%

Umur simpan dalam refrigerator 1 - 2 minggu.



Kadar air ~82%

Umur simpan dalam refrigerator bisa mencapai 2 tahun.



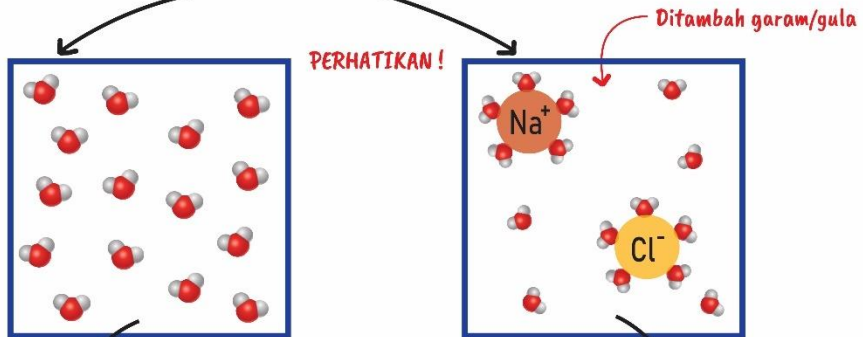
KADAR AIR YANG SAMA BUKAN BERARTI A_w SAMA

Nilai A_w sangat dipengaruhi oleh keberadaan zat terlarut

! INGAT

Moisture / kadar air : jumlah air bebas dan air terikat

Water activity (A_w) : air bebas



15 molekul air seluruhnya adalah air bebas yang bisa digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme (MO).

Potensi kerusakan / penurunan mutu lebih besar akibat MO.

UMUR SIMPAN LEBIH SINGKAT.

Kedua sistem pangan memiliki 15 molekul air, namun.....

Hanya terdapat 5 molekul air bebas yang bisa digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme (MO).

Potensi kerusakan akibat MO lebih kecil.

UMUR SIMPAN LEBIH PANJANG.



Pada dasarnya, yang menentukan umur simpan bukanlah kadar air, namun keberadaan A_w dan yang menentukan besar kecilnya nilai A_w bukanlah kadar air, melainkan ketersediaan air bebas yang bisa digunakan oleh mikro organisme untuk dapat tumbuh dan berkembang biak.

PERBEDAAN KADAR AIR DAN AKTIVITAS AIR

Kadar air (<i>Moisture content</i>)	Aktivitas Air (<i>Water activity</i>)
Menunjukkan jumlah air dalam pangan (air bebas + air terikat)	Menunjukkan air bebas yang bisa digunakan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan potensi terjadinya aktivitas enzim, reaksi oksidasi <i>lipid</i> , reaksi enzimatik dan reaksi non enzimatik
Dapat digunakan pada pelabelan kemasan pangan (informasi jumlah air pada pangan)	Dapat digunakan untuk memprediksi umur simpan suatu pangan
Dapat digunakan untuk keperluan instruksi atau monitoring proses pengolahan pangan	Dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat stabilitas pangan
Nilainya menggambarkan rasio massa air terhadap massa pangan basah (basis basah) atau rasio massa air terhadap massa padatan pada pangan (basis kering)	Nilainya menggambarkan rasio <i>partial pressure</i> uap air pangan (pada sistem tertutup) terhadap <i>partial pressure</i> uap air murni (pada sistem tertutup)
Nilai kadar air basis basah dapat dinyatakan dalam rentang (0-100) %	Nilai A_w dapat dinyatakan dalam rentang 0,0 – 1,0 (tanpa satuan)

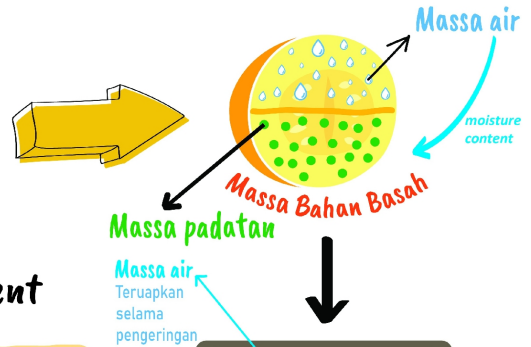


NILAI KADAR AIR

PERHITUNGAN MOISTURE CONTENT

! INGAT

Moisture content / kadar air adalah **massa air** yang berada didalam **bahan basah**.



Perhitungan Moisture Content

Moisture Content Basis Basah (MCbb)

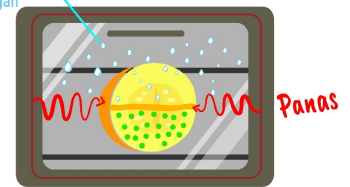
(jumlah air per unit massa dari bahan basah)

$$MCbb = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan basah}}$$

*Note :
Kadar air basis basah juga bisa dinyatakan dalam %

$$MCbb = \frac{\text{massa air}}{\text{massa bahan basah}} \times 100\%$$

digunakan dalam pelabelan atau perdagangan pangan



Cara memaknai kadar air basis basah :

jika bahan pangan memiliki kadar air basis basah 80%, maka didalam bahan pangan tersebut mengandung air 80% dan mengandung padatan 20%.

Moisture Content Basis Kering (MCbk)

(jumlah air per unit massa padatan kering (bone dry) yang ada dalam bahan)

$$MCbk = \frac{\text{massa air}}{\text{massa padatan kering}}$$

*Note :
Kadar air basis kering dinyatakan dalam angka maupun desimal

digunakan dalam perhitungan waktu pengeringan atau untuk menggambarkan kurva laju pengeringan.



• Hubungan MCbb dan MCbk

$$MCbb = \frac{MCbk}{MCbk + 1}$$

atau

$$MCbk = \frac{MCbb}{1 - MCbb}$$

untuk mengubah MCbk menjadi MCbb

untuk mengubah MCbb menjadi MCbk



NILAI AKTIVITAS AIR

PERHITUNGAN AKTIVITAS AIR/WATER ACTIVITY (A_w)

! INGAT
Water Activity = air bebas

air yang bisa digunakan oleh mikroorganisme untuk bisa tumbuh

Uap air di udara → RH

Perbandingan jumlah uap air diudara dengan jumlah uap air maksimum yang bisa ditampung oleh udara pada suhu yang sama.

(Relative Humidity) = Kelembapan Relatif

A_w

Sangat berhubungan dengan **Food Safety** dan **Food Quality**.

*Note :
ERH = Equilibrium Relative Humidity
ERH tercapai jika air dalam pangan telah sama / setimbang dengan lingkungannya.

Bahan basah yang diletakkan dalam ruang terbuka kadar airnya akan mencapai keseimbangan dengan udara disekitarnya.

A_w

ERH

! Pada kondisi ini, air tidak akan berpindah dari pangan ke lingkungan atau sebaliknya.

• Nilai A_w dapat dinyatakan dengan % ERH

$$A_w = \frac{ERH}{100} \rightarrow \text{tercapai jika } P = P'$$

Jika setimbang maka nilai RH = ERH

Bagaimana persamaan ini muncul?

Jika tercapai kondisi kesetimbangan (ERH) maka $P = P'$

$$A_w \cdot P^\circ = \frac{RH \cdot P^\circ}{100}$$

$$A_w = \frac{ERH}{100}$$

Pada suhu (T) tertentu

$$\text{Nilai } A_w = \frac{P}{P^\circ}$$

Keterangan :

P = Tekanan parsial uap air diatas pangan pada T tertentu

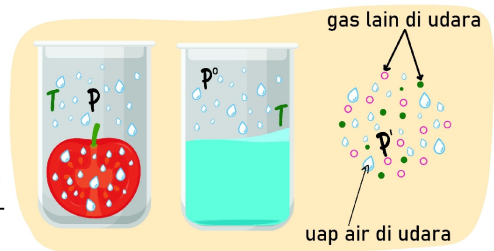
$P = A_w \cdot P^\circ$

P° = Tekanan uap air murni pada T tertentu

P' = Tekanan parsial uap air di udara

$$\text{Nilai RH} = \frac{P'}{P^\circ} \times 100\% \Rightarrow P' = \frac{RH \cdot P^\circ}{100}$$

! INGAT
Jika setimbang nilai RH = ERH

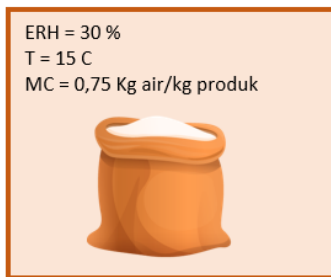


APLIKASI PERSAMAAN NILAI *MOISTURE CONTENT* DAN AKTIVITAS AIR

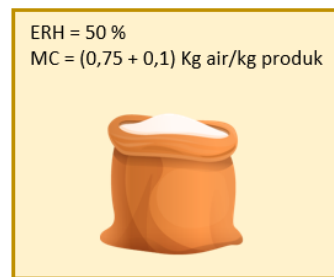
Suatu bahan pangan dengan kadar air basis basah sebesar 7,5% disimpan dalam sebuah ruangan dengan RH 30% pada suhu 15°C selama 15 jam. Pada ruang tersebut bahan pangan tidak mengalami perubahan massa (terjadi kondisi kesetimbangan air). Namun ketika dipindah pada ruangan lain produk mengalami kenaikan sebesar 0,1 kg/kg produk hingga mencapai kesetimbangan pada saat RH ruangan mencapai 50%.

- Tentukan nilai water activity produk pada lingkungan pertama dan kedua
- Hitunglah nilai moisture content produk dalam basis kering pada lingkungan pertama dan lingkungan kedua

PENYELESAIAN



Ruangan I



Ruangan II

$$\text{Nilai } Aw \text{ pada ruang pertama} = \frac{ERH}{100} = \frac{30}{100} = 0,3$$

$$\text{Nilai } Aw \text{ pada ruang kedua} = \frac{ERH}{100} = \frac{50}{100} = 0,5$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai MC basis kering pada ruang pertama} &= \frac{MC \text{ basis basah}}{1 - MC \text{ basis basah}} \\ &= \frac{0,075}{1 - 0,075} = 0,081 \text{ kg air/kg padatan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai MC basis kering pada ruang kedua} &= \frac{MC \text{ basis basah}}{1 - MC \text{ basis bash}} \\ &= \frac{0,075 + 0,1}{1 - (0,075 + 0,1)} = 0,212 \text{ kg air/kg padatan} \end{aligned}$$

Note:

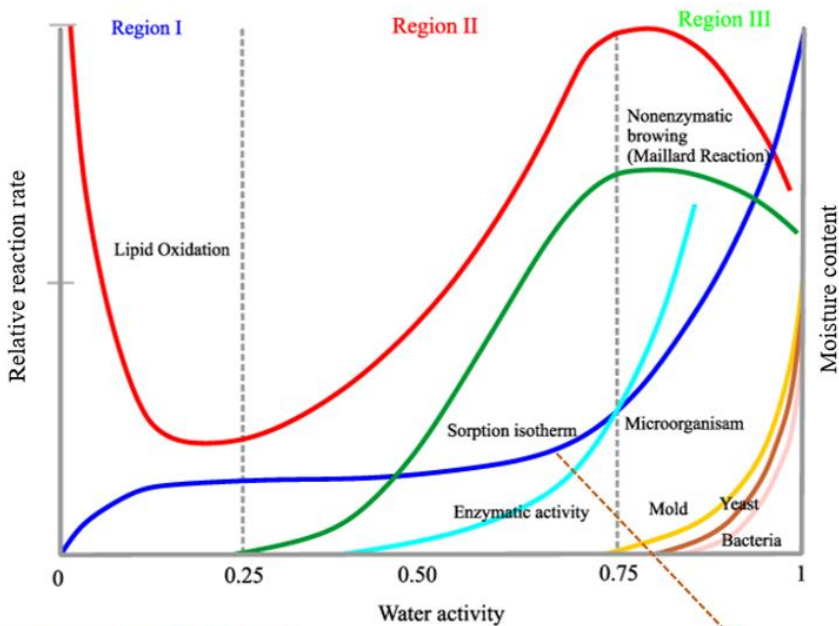
- ✓ satuan untuk *Moisture Content* (MC) basis basah = kg air/kg produk
- ✓ satuan untuk *Moisture Content* (MC) basis kering = kg air/kg padatan



Hubungan *Moisture content, Water activity* dan *Relative Reaction Rate*



Hubungan *moisture content, water activity* dan *relative reaction rate* suatu bahan dapat digunakan untuk memperlihatkan pengaruh aktivitas air terhadap pertumbuhan mikroorganisme, aktivitas enzim dan reaksi-reaksi biokimia yang mungkin terjadi dalam sistem pangan. Selain itu, kurva tersebut juga bisa digunakan untuk menggambarkan kurva isoterm sorpsi air (*moisture sorption isotherm*)



Sumber grafik: Mitrevski *et al*, 2016

Kurva *sorption isotherm* air tidak linier, namun berbentuk kurva sigmoid












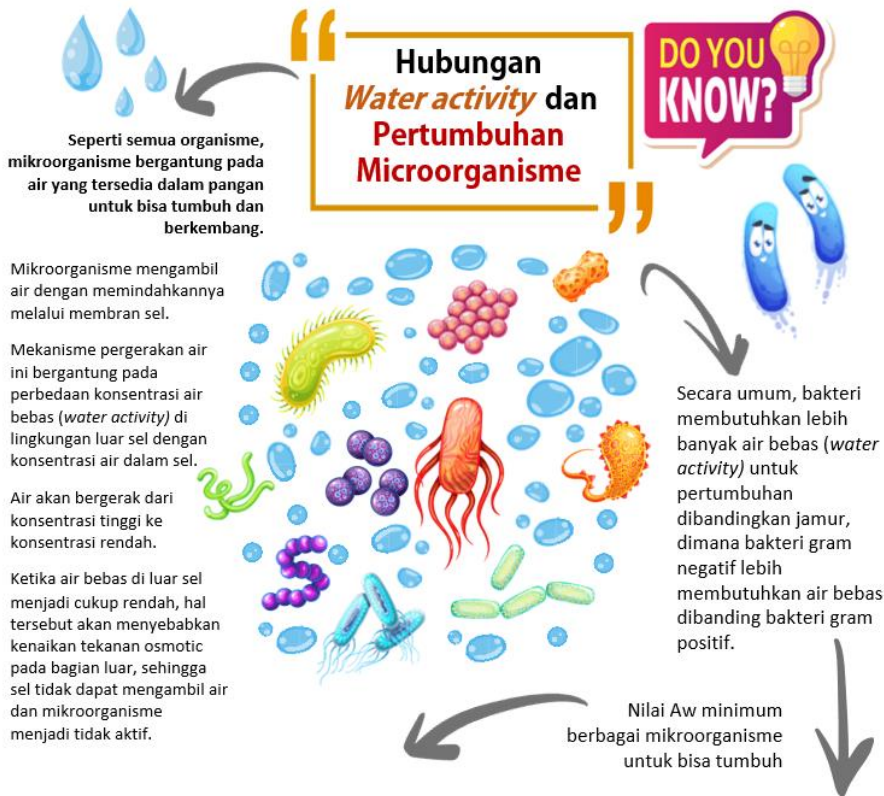
Kurva *sorption isotherm* sangat penting dalam perancangan proses pengeringan, terutama untuk menentukan titik akhir pengeringan sehingga didapatkan produk pangan yang stabil selama penyimpanan

Zona I	Zona II	Zona III
$0 < A_w < 0,25$	$0,25 < A_w < 0,75$	$0,75 < A_w < 1$
Zona <i>mono layer</i>	Zona <i>multilayer</i>	Zona air bebas
Berisi air terikat kuat	Berisi air terikat lemah	Berisi air bebas
Kadar air pangan rendah	Kadar air pangan sedang	Kadar air pangan tinggi
Masih mungkin terjadi oksidasi <i>lipid</i>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hanya mikroorganisme tertentu yang bisa tumbuh ✓ Kemungkinan terjadi reaksi kimia oksidasi <i>lipid</i>, reaksi non enzimatik, dan aktivitas enzim relatif rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Berbagai mikro organisme, bakteri, jamur dan kapang bisa tumbuh dengan baik ✓ Kemungkinan terjadi reaksi kimia oksidasi <i>lipid</i>, reaksi non enzimatik, dan aktivitas enzim sangat tinggi
Stabilitas pangan tinggi	Stabilitas pangan sedang	Stabilitas pangan rendah (bisa ditingkatkan dengan teknologi pengawetan)
Karakter pangan kering dan renyah	Karakter pangan kenyal dan basah (<i>moist</i>)	Karakter pangan lunak dan berair (<i>juicy</i>)

**TIPE - TIPE
TUMBUHNYA MIKROBA**

CONTOH PANGAN

	Water Activity (Aw)		
<ul style="list-style-type: none"> ○ Kebanyakan bakteri, patogen dan organisme pembusuk. 	→	> 0,95	 <p>Daging segar, ikan, sayuran, dll. Pangan dengan <40% (w/w) sukrosa atau <7% (w/w) NaCl</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bakteri asam laktat adalah flora pembusuk utama, pertumbuhan <i>Salmonella sp.</i> 	→	0,91 - 0,95	 <p>Roti, sosis matang, <i>Medium Aged Cheese</i></p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Pembusukan sering terjadi oleh jamur dan ragi 	→	0,87 - 0,90	 <p>Salami, <i>Aged Cheese</i>, pangan dengan 65% (w/w) sukrosa atau 15% (w/w) NaCl</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Staphylococcus aureus</i> dapat tumbuh 	→	> 0,86	 <p><i>Dried beef</i>, susu kental manis, sereal dengan 15% air</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Kebanyakan jamur, tidak ada bakteri patogen 	→	0,80 - 0,87	 <p>Selai, marmalade, <i>Aged Salami</i>, pangan dengan 26% (w/w) NaCl</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Kebanyakan bakteri halofilik 	→	0,75 - 0,80	 <p>Tepung, sereal, kacang-kacangan</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Jamur <i>Xerofilik</i> 	→	0,65 - 0,75	 <p>Caramel, madu</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Ragi <i>Osmofilik</i> 	→	0,60 - 0,65	 <p>Caramel, madu</p>
<ul style="list-style-type: none"> ○ Tidak adanya pertumbuhan 	→	< 0,65	 <p>Sereal sarapan, makanan cemilan, makanan bubuk</p>



Jenis Mikroorganisme	Batas A_w	Nama Mikroorganisme	Batas A_w
<i>Most spoilage bacteria</i>	0,90	<i>Clostridium botulinum</i> , type E	0,97
<i>Most spoilage yeasts</i>	0,88	<i>Pseudomonas</i> spp.	0,97
<i>Most spoilage moulds</i>	0,80	<i>Acinetobacter</i> spp.	0,96
<i>Halophilic bacteria</i>	0,75	<i>Escherichia coli</i>	0,96
<i>Xerophilic moulds</i>	0,61	<i>Enterobacter aerogenes</i>	0,95
<i>Osmophilic yeasts</i>	0,61	<i>Bacillus subtilis</i>	0,95
		<i>Clostridium botulinum</i> , types A and B	0,94
		<i>Candida utilis</i>	0,94
		<i>Vibro parahaemolyticus</i>	0,94
		<i>Botrytis stolonifer</i>	0,93
		<i>Rhizopus stolonifer</i>	0,93
		<i>Mucor spinosus</i>	0,93
		<i>Candida scottii</i>	0,92
		<i>Trichosporon pullulans</i>	0,91
		<i>Candida zeylanoides</i>	0,90
		<i>Staphylococcus aureus</i>	0,86
		<i>Alternaria citri</i>	0,84
		<i>Penicillium patulum</i>	0,81
		<i>Aspergillus conicus</i>	0,70
		<i>Aspergillus echinulatus</i>	0,64
		<i>Zygosaccharomyces rouxii</i>	0,62

Sumber tabel:

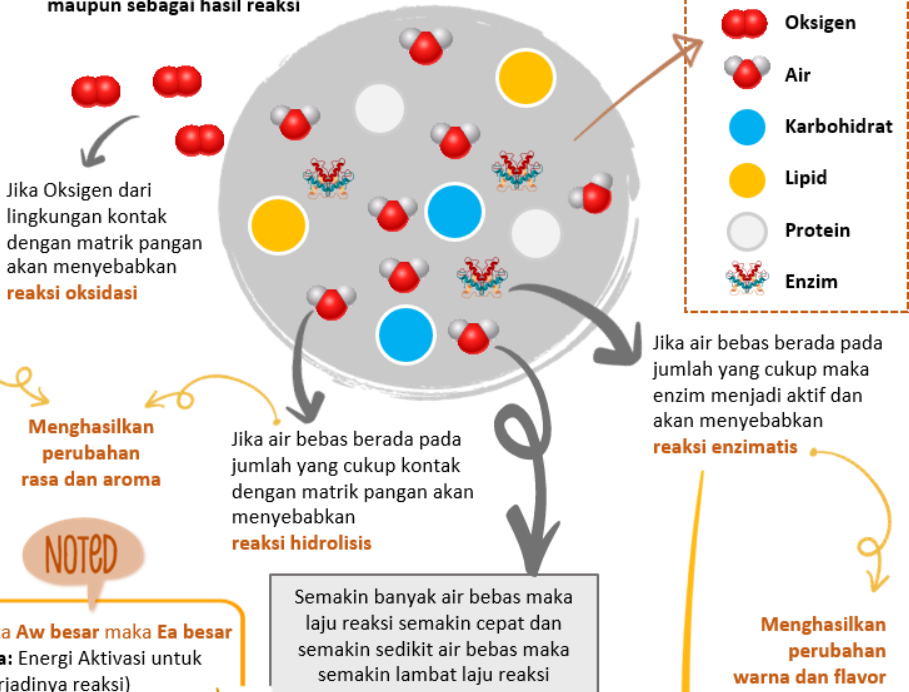
Safefood 360, Inc. 2014



Beberapa reaksi melibatkan air, baik sebagai pereaktan maupun sebagai hasil reaksi

Hubungan *Water activity* dan Reaksi kimia

DO YOU KNOW?



Energi Aktivasi (kJ/mol) untuk beberapa reaksi penurunan mutu pangan

1. Reaksi enzimatik = (42-63) kJ/mol
2. Reaksi hidrolisis = 63 kJ/mol
3. Oksidasi lipid = (42-105) kJ/mol
4. *Ascorbic acid* = (42-126) kJ/mol
5. Reaksi *browning* non enzimatik = (105-209) kJ/mol
6. *Spore destruction* = (251-335) kJ/mol
7. *Vegetative cell destruction* = (209-628) kJ/mol
8. Denaturasi protein = (335-502) kJ/mol

Batas *A_w* untuk terjadinya reaksi enzimatik pada beberapa bahan pangan

1. Enzim *Lipase* (@minyak zaitun) = **0,025** @5-40°C
2. Enzim *Amylases* (@roti) = **0,36** @30°C
3. Enzim *Glucose oxidase* (@glukosa) = **0,4** @30°C
4. Enzim *Trypsin* (@casein) = **0,5** @30°C
5. Enzim *Phytases* (@ biji-bijian) = **0,90** @23°C
6. Enzim *Phospholipases* (@macaroni) = **0,90** @25-30°C
7. Enzim *Proteases* (@ adonan tepung gandum) = **0,96** @35°C

METODE DAN PERALATAN PENGERINGAN



Sumber panas yang sering digunakan untuk proses pengeringan adalah sinar matahari. Selama proses pengeringan udara luar disekitar bahan akan naik akibat panas radiasi dari matahari yang kemudian kontak dengan bahan basah. Pada awalnya suhu bahan akan meningkat dan menyebabkan air akan menguap hingga bahan menjadi lebih kering. Fenomena tersebut yang menjadi dasar pengembangan teknologi pengeringan, dimana parameter (laju alir, suhu dan kelembaban) dikendalikan untuk mendapatkan bahan kering dengan kadar air yang diinginkan. Karena tujuan pengeringan bukanlah untuk mematangkan pangan maka suhu pengeringan harus diupayakan tidak terlalu tinggi. Selain mencegah pematangan, penggunaan suhu rendah juga bisa meminimalisir potensi kerusakan zat gizi dan berbagai perubahan mutu yang tidak diharapkan. Penggunaan suhu tinggi hanya mungkin dilakukan jika proses pengeringan dilakukan dengan waktu sangat singkat.

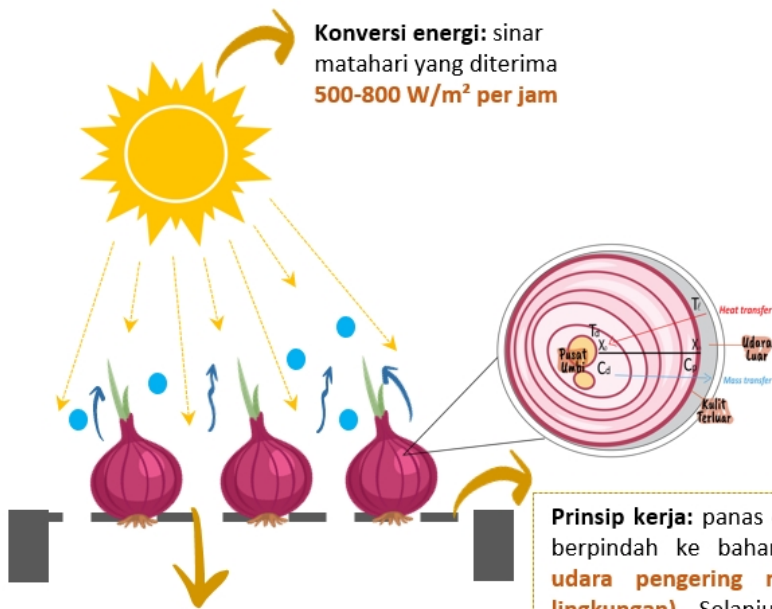
Hingga saat ini telah banyak berkembang berbagai metode dan peralatan pengering pangan. Perbedaan tersebut bisa dilihat dari jenis cara pengoperasian, jenis *input* panas, keadaan bahan dalam pengering, pengoperasian tekanan dll (Tabel Kriteria dan Tipe Pengering). Aplikasi metode tersebut pun beragam, mulai ditingkat petani, Usaha Kecil Menengah (UKM) maupun industri besar. Setiap metode dan peralatan pengering memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pemilihan metode dan peralatan pengering bisa dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik bahan yang akan dikeringkan, mutu produk yang diharapkan, efisiensi proses hingga estimasi biaya pengeringan.

Tabel Kriteria dan Tipe Pengering

Kriteria	Jenis/Tipe
Jenis cara pengoprasian	❖ <i>Batch</i> ❖ <i>Continuous*</i>
Jenis <i>input</i> panas	❖ Konveksi*, konduksi, radiasi, medan elektromagnetik, kombinasi mode perpindahan panas ❖ <i>Intermittent</i> atau kontinyu* ❖ Adiabatik atau non-adiabatik
Keadaan bahan dalam pengering	❖ Tidak berubah (<i>Stationary</i>) ❖ Bergerak; <i>moving, agitated, dispersed</i>
Pengoprasian tekanan	❖ <i>Vacuum*</i> ❖ <i>Atmospheric</i>
Media pengeringan (konveksi)	❖ Udara* ❖ <i>Superheated steam</i> ❖ <i>Flue gases</i>
Suhu pengeringan	❖ Di bawah suhu didih* ❖ Di atas suhu didih ❖ Di bawah titik beku
Gerakan aliran antara media pengeringan dengan bahan pangan yang dikeringkan	❖ <i>Concurrent flow</i> (aliran searah) ❖ <i>Countercurrent-flow</i> (aliran berlawanan arah) ❖ Aliran campuran
Jumlah tahapan	❖ <i>Single</i> (tunggal) ❖ <i>Multi-stage</i>
Waktu pengeringan	❖ Singkat (< 1 menit) ❖ Sedang (1 – 60 menit) ❖ Lama (> 60 menit)

Catatan: *Paling umum digunakan

(Sumber: Jangam *et al*, 2010)



Konversi energi: sinar matahari yang diterima **500-800 W/m² per jam**

SUN DRYING

Merupakan metode pengeringan dengan memanfaatkan paparan sinar matahari

Tipe pengeringan:

- ✓ Langsung/**direct mode**
- ✓ Tidak langsung/**indirect mode**

Prinsip kerja: panas dari sinar matahari akan berpindah ke bahan secara **radiasi (suhu udara pengering mengikuti suhu udara lingkungan)**. Selanjutnya udara yang telah panas akan menaikkan suhu bahan dan akan menguapkan molekul air pada lapisan luar bahan yang dikeringkan. 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.

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Desain sederhana, ✓ Hemat biaya dan energi, ✓ Tidak ada emisi CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Waktu pengeringan lama (2-20 hari, bergantung pada bahan dan cuaca), ✓ Membutuhkan lahan yang luas, ✓ Kurang higienis (ada potensi kontaminasi mikroba) ✓ Mutu produk sulit dikendalikan dan kurang seragam

Awesome

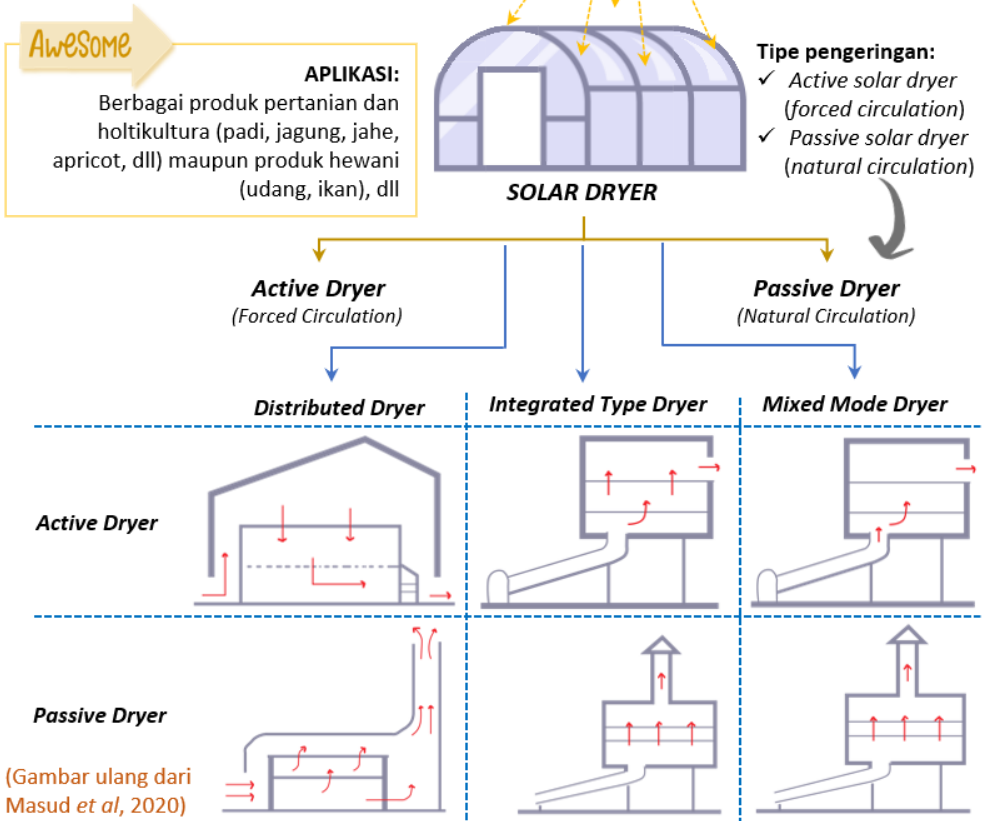
APLIKASI:
 Berbagai produk pertanian (padi, jagung, kedelai, bawang dll), produk perkebunan (kopi, kakao, kopra dll) maupun hasil laut (ikan, seafood, rumput laut dll)

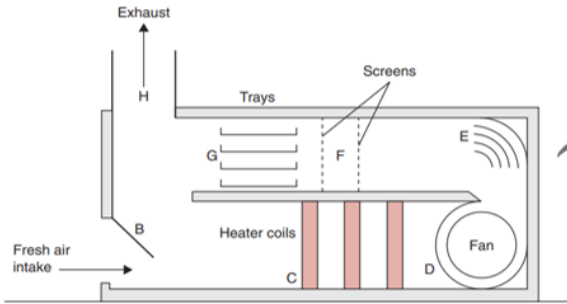
Kelebihan	Kekurangan
Murah, hasil lebih higienis dibandingkan <i>sun drying</i> , dan tidak ada emisi CO ₂	Bergantung pada matahari, biaya lebih mahal dibanding <i>sun drying</i>



Prinsip kerja: Prinsipnya 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 melewati panas ke bahan, udara dilepaskan ke atmosfer melalui saluran keluar udara.

Solar dryer pengembangan dari *Sun drying*, dengan mengumpulkan energi matahari menggunakan *solar collector*



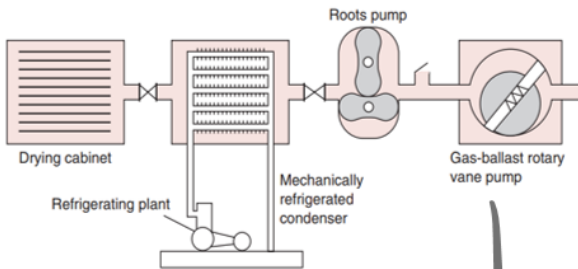


CABINET / TRAY DRYER

Ilustrasi Cabinet drier
(Sumber: Van Arsdel dalam Singh et al, 2009)

Prinsip kerja cabinet dryer:

- ✓ Bahan diletakkan pada tray (rak) dan bahan.
- ✓ Disaat bersamaan udara dari lingkungan dilewatkan heater coils untuk dinaikkan suhunya (60-80°C).
- ✓ Selanjutnya udara panas didistribusikan dengan kipas (fan) dan kontak secara konveksi dengan pangan.
- ✓ Proses pengeringan berlangsung pada rentang 2-10 jam (tergantung pada karakteristik pangan dan suhu pengeringan).



Ilustrasi Cabinet drier dengan vakum
(Sumber: Potter dalam Singh et al, 2009)

Pada vacuum cabinet dryer dilengkapi penghisap udara untuk menarik udara dari drying cabinet agar tekanan udara dalam ruang pengering turun (mendekati vacuum).

Jika tekanan udara rendah maka suhu penguapan air akan lebih rendah dan proses pengeringan bisa berlangsung pada suhu rendah.

Potensi kerusakan/penurunan mutu akibat suhu tinggi bisa diminimalisir

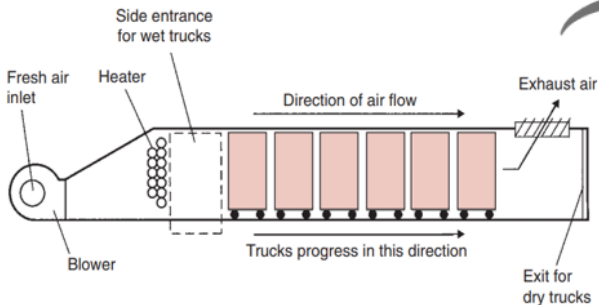
AWESOME

APLIKASI:

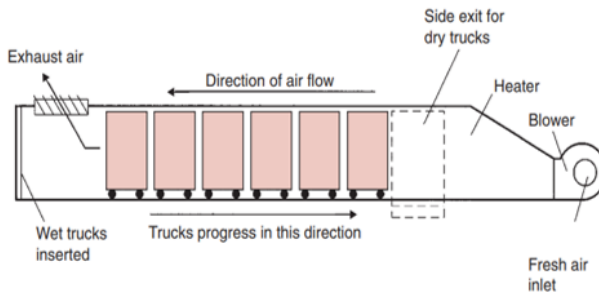
- ✓ Untuk bahan pangan bentuk potongan (irisian buah, umbi), utuh (daun, bunga), dll.
- ✓ Vacuum cabinet dryer sangat tepat untuk bahan yang memiliki komponen sensitif terhadap panas.

Kelebihan	Kekurangan
Desain alat sederhana, tidak terlalu mahal, kapasitas pengeringan cukup besar (2.000 s/d 20.000 kg/hari, tergantung bahan)	Laju pengeringan kurang seragam karena distribusi aliran udara yang kurang merata dalam ruang pengering

TUNNEL DRYER



Ilustrasi *Concurrent-flow tunnel dryer*



Ilustrasi *Countercurrent-flow tunnel dryer*

(Sumber: Van Arsdel dalam Singh *et al*, 2009)

- ✓ **Tipe alat pengering:** *continue* dan *semi continue*
- ✓ **Kekurangan:** hasil pengeringan kurang seragam

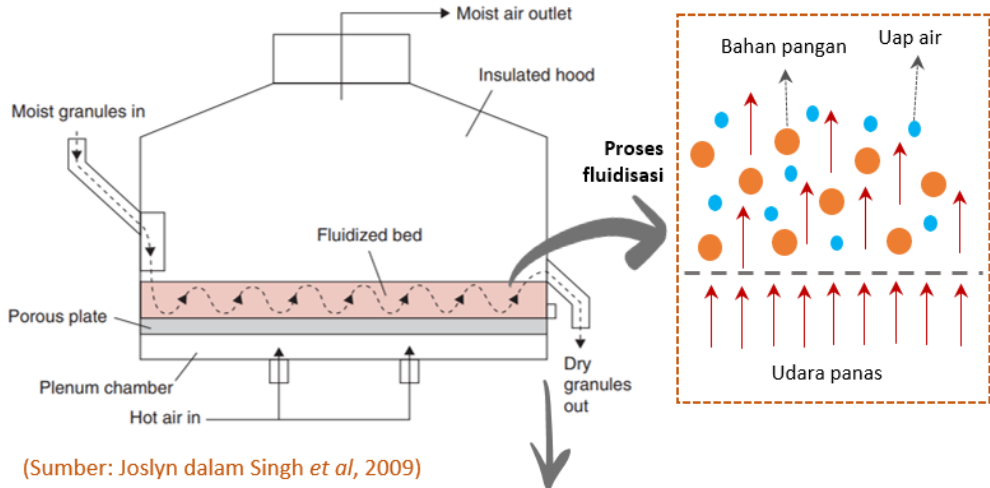
AWESOME

APLIKASI:

Pengeringan bahan berbentuk potongan dari produk hortikultura dan pengeringan produk perikanan

- ✓ **Tunnel dryer** merupakan hasil pengembangan dari *cabinet dryer*
- ✓ **Prinsip kerja:** bahan yang akan dikeringkan dimasukkan salah satu ujung terowongan dan bergerak dengan kecepatan tertentu dalam *truck* (tempat untuk meletakkan bahan yang akan dikeringkan). Disaat bersamaan udara dari luar dihisap oleh *blower* dan dipanaskan dengan *heater* (50-80°C). Udara panas tersebut kemudian kontak secara konveksi dengan bahan yang akan dikeringkan. Arah bahan udara panas bisa **searah** (*concurrent*) atau **berlawanan arah** (*countercurrent*) dengan bahan dalam *truck*.
- ✓ **Kapasitas evaporasi:** 5-15 kg/m² h
- ✓ **Waktu pengeringan:** 30 menit hingga 3 jam (tergantung karakteristik bahan dan suhu pengeringan)

FLUIDIZED BED DRYER



(Sumber: Joslyn dalam Singh *et al*, 2009)

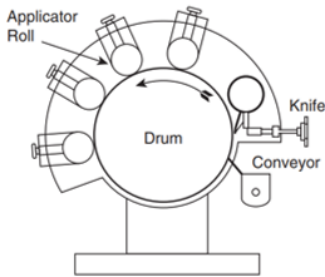
- ✓ **Prinsip kerja:** udara panas (**60-100°C**) dilewatkan dari bawah *porous plate* (selain sebagai distributor udara panas, *plate* ini juga berfungsi untuk menahan bahan pangan yang akan dikeringkan). Udara panas tersebut dialirkan dengan kecepatan tertentu sehingga mampu membuat bahan **terfluidisasi** (bergerak melayang dalam udara panas). Karena bahan terfluidisasi maka seluruh permukaan bahan bisa kontak dengan udara pemanas secara **konveksi**. Dengan demikian laju pengeringan bisa lebih cepat jika dibanding dengan sistem *tray*.
- ✓ **Kapasitas evaporasi:** **30-90 kg/m² h**
- ✓ **Waktu pengeringan:** **2-20 menit** (tergantung karakteristik bahan dan suhu udara pengeringan)
- ✓ **Kelebihan:** kadar air bahan yang dihasilkan lebih seragam

Awesome

APLIKASI:

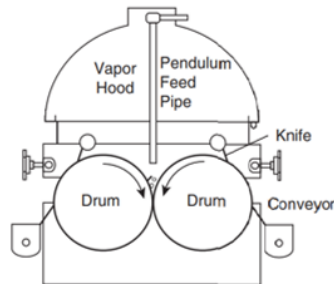
Banyak diaplikasikan untuk bahan pangan sereal (padi dan jagung), biji (biji bunga matahari, *rapeseed*) untuk polong dan kacang-kacangan (kacang tanah dan kedelai)

DRUM DRYER



(a)

(a) Single drum dryer



(b)

(b) Double drum dryer

Drum dryers merupakan teknik pengeringan menggunakan silinder logam yang berputar pada sumbu horizontal dan dipanaskan secara internal oleh uap panas atau media pemanas lainnya

(Sumber: Dekker dalam Sabarez, 2016)

Prinsip kerja: bahan diumpankan ke permukaan luar drum yang berputar untuk membentuk lapisan tipis sekitar **0,5-2,0 mm** sehingga menutupi permukaan drum. Suhu permukaan drum sangat tinggi (**120 – 170°C**) yang dihasilkan dari media pemanas didalam drum. Proses perpindahan panas dari media pemanas dan bahan berlangsung secara **konduksi** pada dinding drum.

- ✓ **Kapasitas evaporasi:** 5-30 kg/m² h
- ✓ **Waktu pengeringan:** 10 detik hingga 3 menit (tergantung karakteristik bahan dan suhu pengeringan)
- ✓ **Aspek yang harus diperhatikan:** kecepatan putaran drum, suhu pengeringan, dan ketebalan bahan
- ✓ **Tipe alat pengering:** single drum dryer dan double drum dryer

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Memiliki efisiensi pengeringan yang tinggi (efisiensi energi panas 60-90%) ✓ Biaya operasional yang rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Biaya investasi mahal ✓ Potensi perubahan mutu: terjadi penurunan lisin pada susu bubuk skim, degradasi polifenol pada kulit apel, pencoklatan non-enzimatis

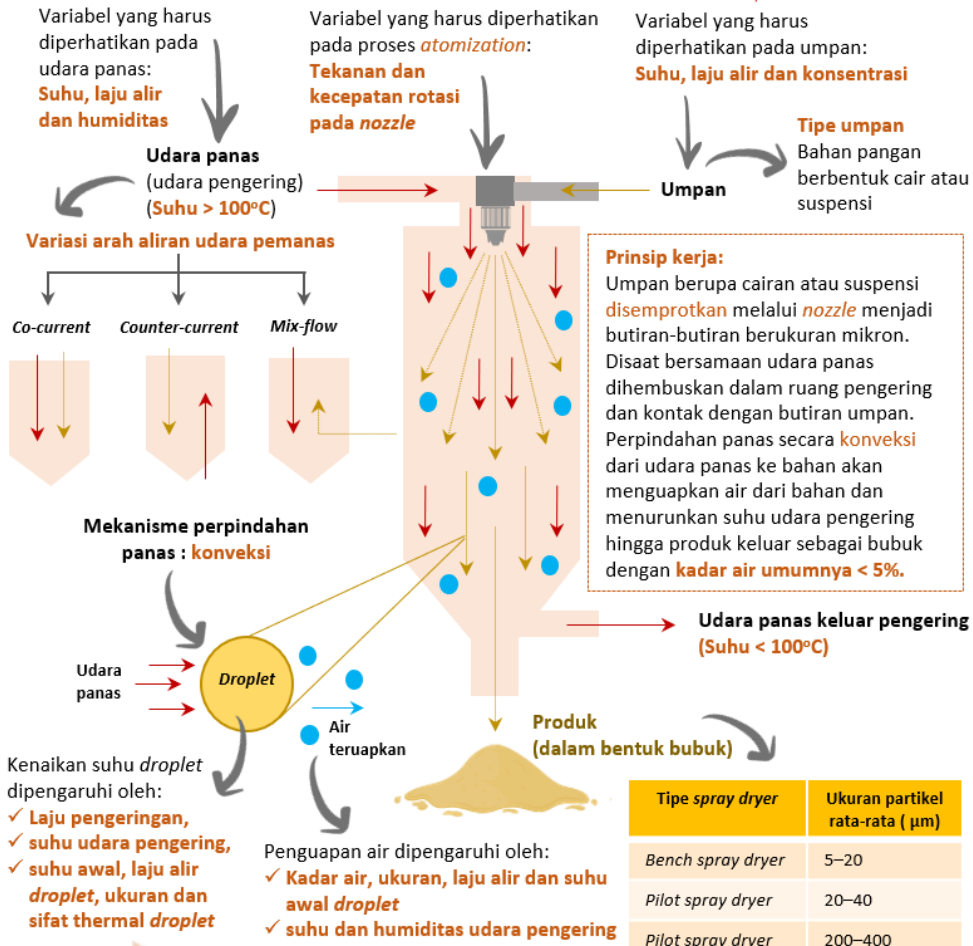
Awesome

APLIKASI:

- ✓ Bahan yang dikeringkan (*feed*): berbentuk cair, bubur (*slurry*), maupun pasta
- ✓ Produk yang dihasilkan: susu bubuk, makanan bayi, tepung kentang, dll

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> Waktu pengeringan singkat (3-60 detik), Produk lebih seragam 	Berpotensi menurunkan kandungan protein karena penggunaan suhu yang tinggi

SPRAY DRYING



Tipe <i>spray dryer</i>	Ukuran partikel rata-rata (µm)
<i>Bench spray dryer</i>	5–20
<i>Pilot spray dryer</i>	20–40
<i>Pilot spray dryer</i>	200–400
<i>Agglomerated powders</i>	200–2000

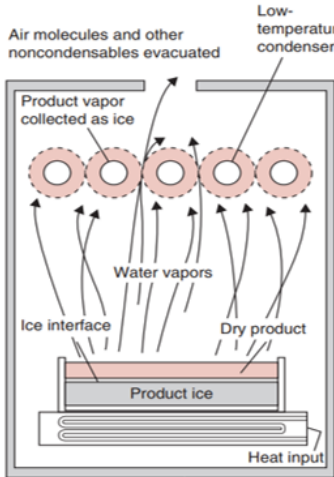
Sumber: Woo et al, 2013

Awesome

APLIKASI: Pengeringan susu (pembuatan susu bubuk), pengeringan ekstrak kopi (kopi bubuk), pengeringan jus buah atau sayur, pengeringan telur (bubuk telur), enkapsulasi minyak esensial dll

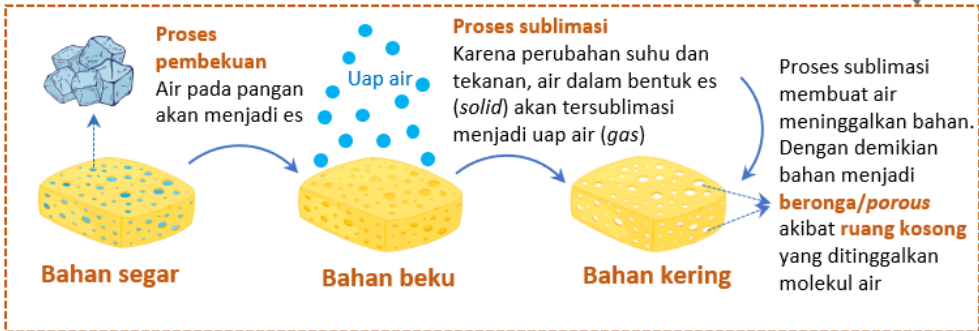
Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mutu produk baik, meningkatkan kecerahan warna dan menghasilkan tekstur yang renyah, lembut, <i>creamy</i>, dan mudah hancur di lidah 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Unit operasi yang paling mahal ✓ Membutuhkan waktu pengeringan yang lama

FREEZE DRYING



(Sumber: Vitris Company dalam Singh *et al*, 2009)

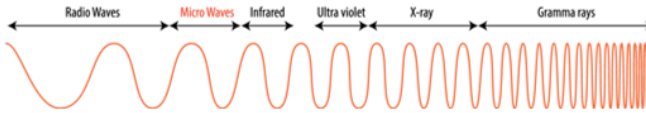
- ✓ **Prinsip kerja:** proses pengeringan berlangsung pada suhu dan tekanan yang sangat rendah (sekitar **0,036 psi** atau sekitar **0,0025 bar**), pada kondisi ini bahan akan membeku. Kemudian suhu dinaikkan secara terkontrol mencapai sekitar 100°F (**38°C**) sehingga terjadi proses **sublimasi** (perubahan fase dari padat (es) ke uap). Selanjutnya uap air yang dihasilkan ini kemudian disedot dan dikondensasikan sehingga tidak membasahi produk yang sedang dikeringkan.
- ✓ **Model transfer panas: konveksi**
- ✓ Pembekuan cepat berlangsung pada suhu sekitar **-40°C**, sehingga waktu pembekuan terjadi dengan cepat. Sebaliknya, pembekuan lambat berlangsung pada suhu diatas **-24°C**, sehingga memerlukan waktu pembekuan yang lebih lama.
- ✓ **Waktu pengeringan: 5-24 jam**



Awesome

APLIKASI:
 Bahan yang dikeringkan: ekstrak kopi, udang (utuh atau pun potongan), daging kepiting, lobster, daging sapi, daging ayam, campuran aneka sayur yang merupakan bagian sup; atau pun produk bubur yang siap disajikan hanya dengan penambahan air panas saja dan hampir semua jenis buah dan sayuran, termasuk kacang- kacangan, jagung, tomat, berries, nanas dan lain-lain.

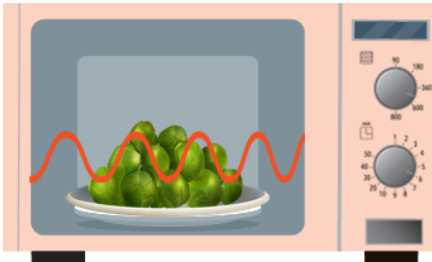
SPEKTRUM GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK



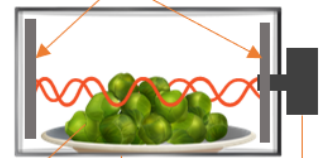
Gelombang Elektromagnetik adalah gelombang transversal yang dapat merambat walau tidak ada medium perantara dengan arah perambatan selalu tegak lurus arah medan listrik dan **medan magnet**. Gelombang elektromagnetik juga dapat **mengalami pemantulan**.

Gelombang Mikro (Microwave) merupakan salah satu bagian dari spektrum gelombang elektro magnetik dengan frekuensi super tinggi (*Super High Frequency*) yaitu di atas 3 GHz (3×10^9 Hz).

Laju pengeringan dan jumlah panas yang diserap bahan dipengaruhi oleh: **komposisi dan ukuran bahan, frekuensi gelombang mikro, dan desain microwave**



Lempeng pemantul gelombang



Piringan (untuk memutar bahan)

Magnetron (penghasil gelombang mikro)

- ✓ **Microwave** merupakan teknik pengeringan menggunakan panas dari gelombang mikro (gelombang frekuensi tinggi)
- ✓ **Prinsip kerja:** bahan dipanaskan dan dikeringkan dengan energi elektromagnetik, dengan frekuensi pengeringan **300 – 3000 MHz** dengan mekanisme perpindahan panas secara **dielektrik**. Karena gelombang hanya bergerak lurus maka untuk meratakan panas bahan diletakkan diatas piringan yang berputar.
- ✓ Suhu pengoprasian **maksimum 150°C** dan **tekanan maksimumnya 1050 kPa**

Ketika gelombang mikro melewati pangan yang memiliki kadar air tinggi maka medan magnet dari gelombang tersebut akan membuat molekul air bergerak terus menerus, gerakan tersebut meyebabkan **gesekan antar molekul air dan akan menghasilkan panas yang akan menaikkan suhu bahan**

Berbeda dengan pengeringan dengan mekanisme konduksi maupun konveksi, pemanasan dengan microwave panas dihasilkan dari gerakan molekul air, maka **panas merambat dari dalam ke permukaan bahan**



Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menghasilkan pemanasan yang lebih seragam dan efektif, waktu pengeringan lebih singkat 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mahal, ada risiko kebocoran radiasi yang menyebabkan cedera pada operator

Awesome

APLIKASI:

Bahan yang dikeringkan: *germinated brown rice* (GBR) atau beras merah berkecambah, buah, sayuran dll

FOAM MAT DRYING

Foam mat drying adalah teknik pengeringan yang dilakukan dengan cara mengubah bahan yang akan dikeringkan kedalam bentuk pasta atau cair yang kemudian **dibusakan**

Diaplikasikan pada produk yang memiliki komponen sensitif terhadap panas, memiliki karakteristik lengket atau kental dengan produk akhir yang diharapkan berupa bubuk

Bentuk busa akan **meningkatkan luas permukaan** bahan yang akan dikeringkan

Laju pengeringan meningkat

Lebih efisien

Tahapan metode pengeringan foam mat drying

Penanganan awal: pencucian, pengupasan atau pemotongan



AwESOME

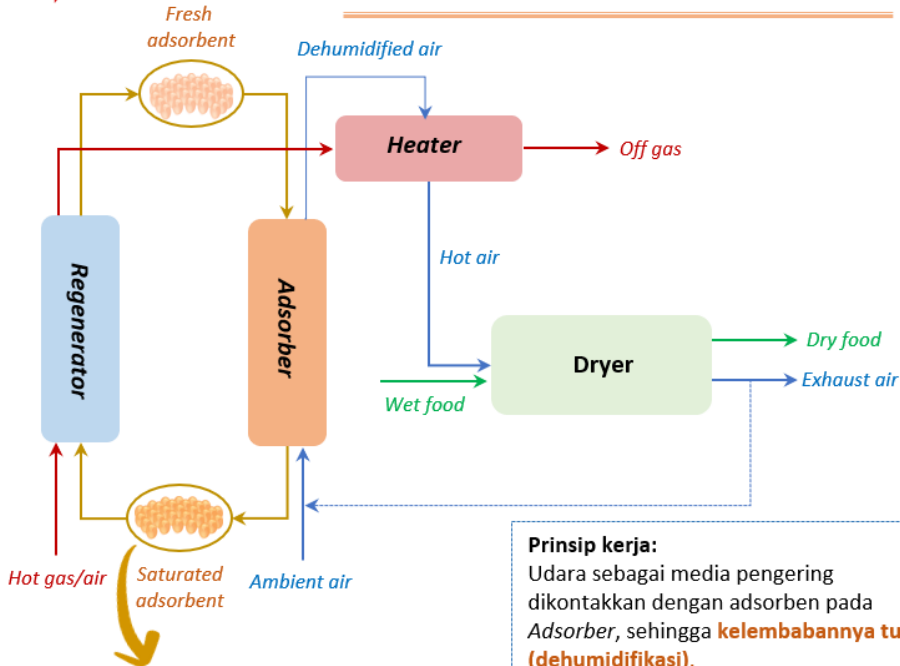
APLIKASI:
 Pengeringan berbagai jus buah, buburan sayuran, susu, ekstrak bunga, *soluble coffee*, dll

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> Mutu produk bisa dipertahankan dari bahan segarnya dan memiliki porositas tinggi Pengeringan lebih cepat dan lebih murah dibanding <i>vacuum</i>, <i>spray</i> dan <i>freeze drying</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Kapasitas pengeringan kecil

SISTEM PENGERING DENGAN UDARA DIDEHUMIDIFIKASI

NOTED

Dengan mempertimbangkan kebutuhan panas pada semua unit, **efisiensi energi sistem pengering ini 10 - 30%** di atas sistem pengering tanpa zeolite



Adsorbent (zeolite) yang telah jenuh dapat diregenerasi dengan pemanasan (**Regenerator**), sehingga dapat digunakan kembali.

- ✓ Zeolite adalah bahan berpori yang mengandung alumina dan silika dalam bentuk kristal dengan berat jenis antara 0,8 – 1,1 g/mL
- ✓ Zeolite dapat menurunkan air dari udara sampai kadar 0,1 ppm (*dew point* -50 °C) dengan kapasitas **penyerapan 20 - 25% dari total beratnya**



Prinsip kerja:

Udara sebagai media pengering dikontakkan dengan adsorben pada *Adsorber*, sehingga **kelembabannya turun (dehumidifikasi)**.

Udara berkelembaban rendah ini berpotensi meningkatkan **driving force** perpindahan massa air dari bahan basah ke udara. Oleh karena itu, **proses pengeringan berlangsung lebih cepat dan efisien, terutama pada suhu rendah.**

AWESOME

APLIKASI:

Pengeringan biji jagung, padi, bawang merah, rumput laut, ekstrak rumput laut (karaginan), ekstrak kayu secang, bunga rosela dll



INOVASI TEKNOLOGI PENGERINGAN

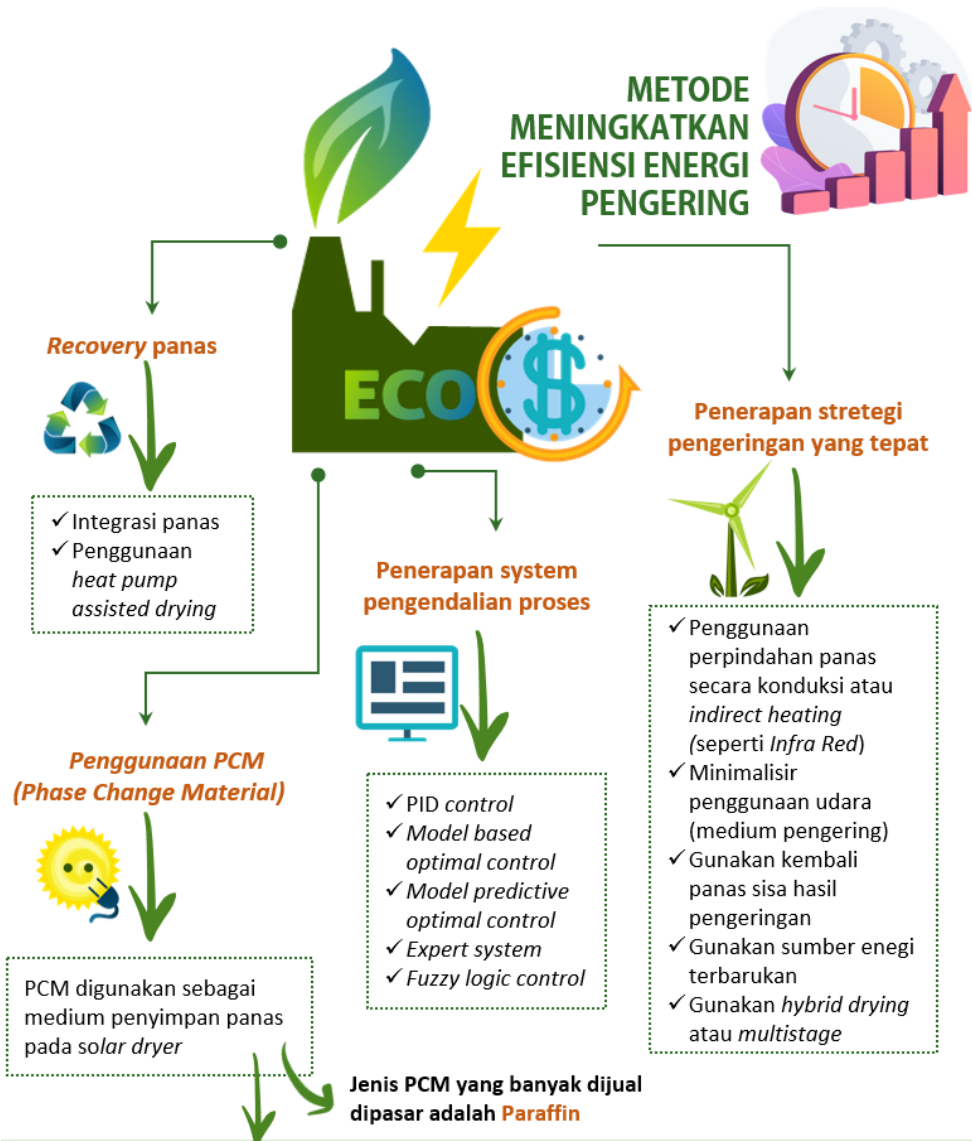
Hingga saat ini tantangan yang dihadapi dalam proses pengeringan pangan adalah isu efisiensi energi yang rendah. Dari berbagai tahapan proses pengolahan pascapanen bahan pangan, sekitar 70% dari kebutuhan energi digunakan untuk pengeringan, sedangkan pada proses produksi porsinya hanya mencapai 20%. Selain itu, akar permasalahan lainnya yang terdapat dalam pengeringan adalah borosnya energi yang digunakan. Konsumsi energi yang besar ini, sebenarnya dapat diminimalisir dengan meningkatkan efisiensi energi proses pengeringan. Saat ini, efisiensi energi pada sistem pengering hanya berkisar 30 - 60%. Berdasarkan kondisi tersebut, maka energi yang harus disediakan untuk pengeringan yaitu 2 - 3 kali dari kebutuhan riilnya. Jika demikian, maka proses pengeringan akan menyerap 20 - 30% dari total *biaya operasi* pengolahan produk.

Penyebab rendahnya efisiensi energi pada proses pengeringan disebabkan karena tidak efisiennya transfer massa air dari bahan ke udara. Terlebih di daerah tropis yang memiliki kelembaban relatif udara yang tinggi (70 – 80%). Udara akan menjadi cepat jenuh jika digunakan sebagai media pengering. Pada kelembaban relatif yang tinggi, *driving force* transfer massa air dari bahan basah ke udara (media pengering) menjadi rendah, sehingga proses penguapan air terhambat.

Berbagai inovasi pengeringan modern telah berhasil meningkatkan mutu produk. Namun, disaat yang bersamaan sumber energi pengering terutama bahan bakar fosil sudah mulai terbatas, harga bahan bakar dunia tidak menentu, industrialisasi semakin pesat berkembang, perubahan iklim dunia, dan kenaikan emisi gas rumah kaca semakin parah. Kondisi tersebut mendorong pentingnya peningkatan efisiensi energi pengering dan upaya pemanfaatan energi terbarukan.



METODE MENINGKATKAN EFISIENSI ENERGI PENGERING



- (i) Pada siang hari energi panas matahari digunakan PCM untuk mengubah fasenya dari padat menjadi cair dan menyimpan energi panas matahari tersebut sebagai panas laten
- (ii) Saat malam tiba, dan matahari tidak bisa lagi memasok panas, suhu di sekitar PCM akan turun; sebagai hasilnya, PCM mulai memadat kembali dengan melepaskan panas laten ke lingkungan sekitarnya
- (iii) Panas yang dilepaskan dapat digunakan untuk pengeringan selama panas matahari tidak tersedia

LAJU PENGERINGAN

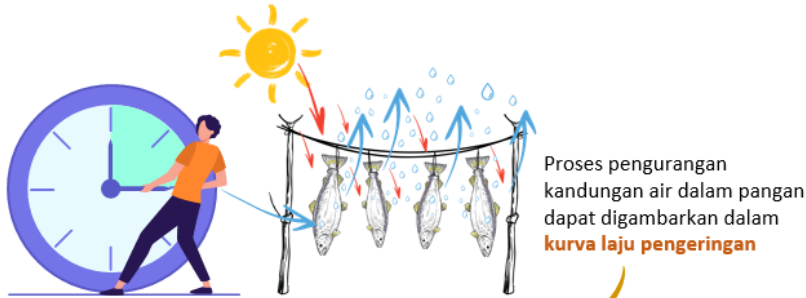
Laju pengeringan merupakan salah satu topik yang banyak dipelajari dalam proses pengeringan. Laju pengeringan dapat digunakan untuk menggambarkan seberapa cepat proses pengeringan berlangsung. Selain itu, memahami laju pengeringan juga bisa digunakan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dari kadar air tertentu hingga kadar air produk yang diinginkan. Secara umum, laju proses pengeringan dibagi menjadi dua periode, yaitu: periode laju konstan dan periode waktu menurun. Pada periode laju konstan kecepatan penguapan air dipengaruhi oleh variabel proses pengeringan/kondisi lingkungan: suhu, kelembapan udara, kecepatan udara pengering. Sedangkan pada periode laju menurun, kecepatan penguapan air tidak lagi dipengaruhi faktor eksternal, namun sangat dipengaruhi oleh sifat pangan: komposisi, kadar air, bentuk, ukuran, ketebalan, porositas, difusifitas, konduktifitas, dll.



Karena proses pengeringan dapat terjadi dengan berbagai parameter proses yang berubah dan karakteristik bahan yang akan dikeringkan juga berbeda-beda, maka setiap bahan yang dikeringkan akan memiliki pola kurva laju pengeringan yang berbeda-beda. Bisa jadi laju penguapan suatu pangan didominasi periode laju konstan, namun bisa jadi didominasi periode laju menurun. Bahkan periode laju menurun bisa terjadi lebih dari satu kali. Hal ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik pangan yang akan dikeringkan. Total waktu pengeringan bisa diperkirakan dengan menjumlahkan total waktu pengeringan, baik pada periode konstan maupun pada periode menurun.



KONSEP LAJU PENGERINGAN



Proses pengurangan kandungan air dalam pangan dapat digambarkan dalam **kurva laju pengeringan**

Secara umum, selama proses pengeringan, air keluar dari pangan melalui **beberapa tahap/periode**

Pada periode ini laju penguapan air mengalami penurunan karena air semakin sulit keluar

Periode laju menurun (**falling rate period**) = C - E

Periode laju konstan (**constant rate period**) = B - C

Terjadi evaporasi air bebas

Terjadi evaporasi air terikat lemah

Falling rate period I (C - D) 3

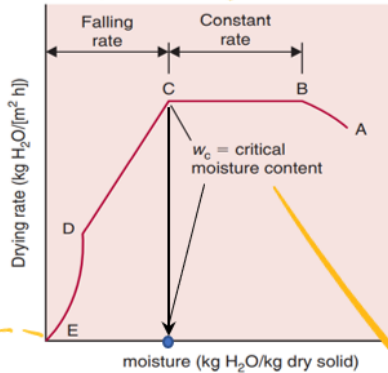
Terjadi evaporasi air terikat kuat

Falling rate period II (D - E) 4

1 Periode awal keluarnya air (**initial removal of moisture**) = A - B

1

Terjadi pada awal proses pengeringan dimana air dalam pangan mulai mengalami peningkatan suhu



5 Pada **titik E** proses penguapan air terhenti dan pangan telah mencapai kondisi kadar air kesetimbangan

Kadar air kritis (**critical moisture content**) adalah **nilai kadar air** saat laju pengeringan mulai menurun (**masuk periode falling rate**)

Sumber grafik: Singh *et al*, 2009

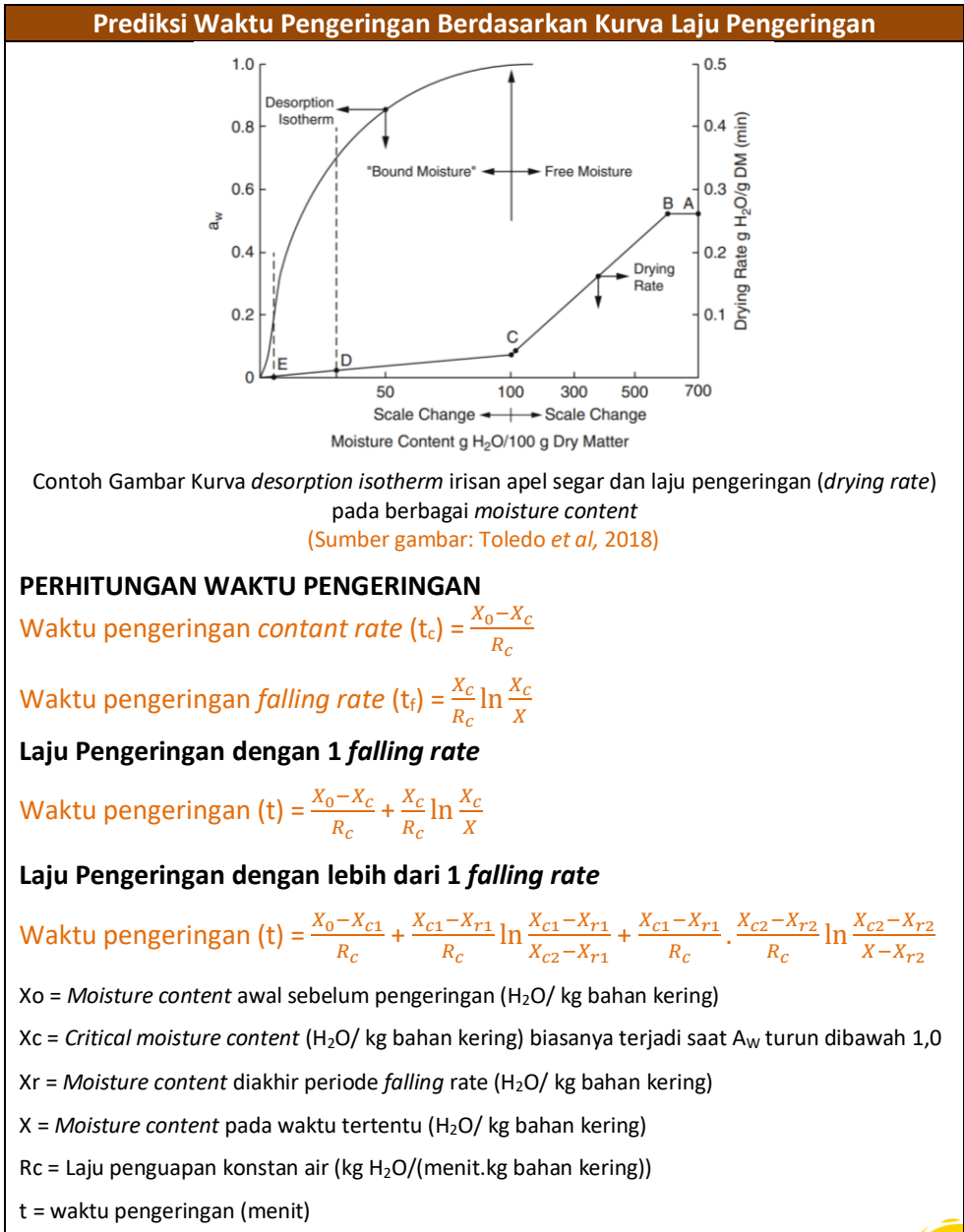
Sebagai pembatas periode konstan dan periode menurun

Note:

Kurva laju pengeringan dapat digunakan untuk memperkirakan total waktu pengeringan.

WAKTU PENGERINGAN

Terdapat beberapa persamaan yang bisa digunakan untuk memperkirakan waktu pengeringan, bisa berdasarkan mekanisme perpindahan panas, pendekatan geometri benda yang dikeringkan, jenis peralatan pengering maupun berdasarkan kurva laju pengeringan. Buku ini hanya akan membahas prediksi waktu pengeringan berdasarkan kurva laju pengeringan.



APLIKASI PERSAMAAN WAKTU PENGERINGAN

1. Suatu bahan basah dengan kadar air 75% (basis basah) dikeringkan dengan laju penguapan konstan air sebesar 0,15 kg H₂O/(menit.kg bahan kering) dan memiliki nilai A_w 1,0 pada moisture content > 1,10 kg H₂O/ kg bahan kering. Berapa lama waktu pengeringan yang dibutuhkan hingga bahan memiliki kadar air akhir 8% (basis basah)?

PENYELESAIAN

$$X_c = 1,10 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

$$R_c = 0,15 \text{ kg H}_2\text{O/ (menit.kg bahan kering)}$$

➤ **Konversikan nilai kadar air basis basah menjadi basis kering**

$$X_0 = \frac{0,75}{1-0,75} = 3,0 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

$$X = \frac{0,08}{1-0,08} = 0,0869 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

$$t_{\text{pengeringan}} = \frac{X_0 - X_c}{R_c} + \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X}$$

$$t_{\text{pengeringan}} = \frac{3,0 - 1,10}{0,15} + \frac{1,10}{0,15} \ln \frac{1,10}{0,0869}$$

$$t_{\text{pengeringan}} = 31 \text{ menit}$$

2. Apel dengan kadar air awal 70% (basis basah) dikeringkan dalam *tunnel dryer* hingga kadar air akhir 5% (basis basah). Selama proses pengeringan, kurva pengeringan menunjukkan setelah 5 menit laju pengeringan konstan berhenti pada kadar air 25 % (basis basah). Berdasarkan data tersebut, hitunglah waktu pengeringannya!

PENYELESAIAN

➤ **Konversikan nilai kadar air basis basah menjadi basis kering**

$$X_0 = \frac{0,7}{1-0,7} = 2,33 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

$$X_c = \frac{0,25}{1-0,25} = 0,333 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

$$X = \frac{0,05}{1-0,05} = 0,0526 \text{ kg H}_2\text{O/ kg bahan kering}$$

➤ **Hitung laju penguapan konstan air**

$$t_{\text{constant rate}} = \frac{X_0 - X_c}{R_c}$$

$$R_c = \frac{X_0 - X_c}{t_{\text{laju pengeringan konstan}}}$$

$$R_c = \frac{2,33 - 0,333}{5} = 0,4 \text{ kg H}_2\text{O}/(\text{menit.kg bahan kering})$$

➤ **Hitung waktu pengeringan pada *falling rate***

$$t_{\text{falling rate}} = \frac{X_c}{R_c} \ln \frac{X_c}{X}$$

$$t_{\text{falling rate}} = \frac{0,333}{0,4} \ln \frac{0,333}{0,0526}$$

$$t_{\text{falling rate}} = 1,5 \text{ menit}$$

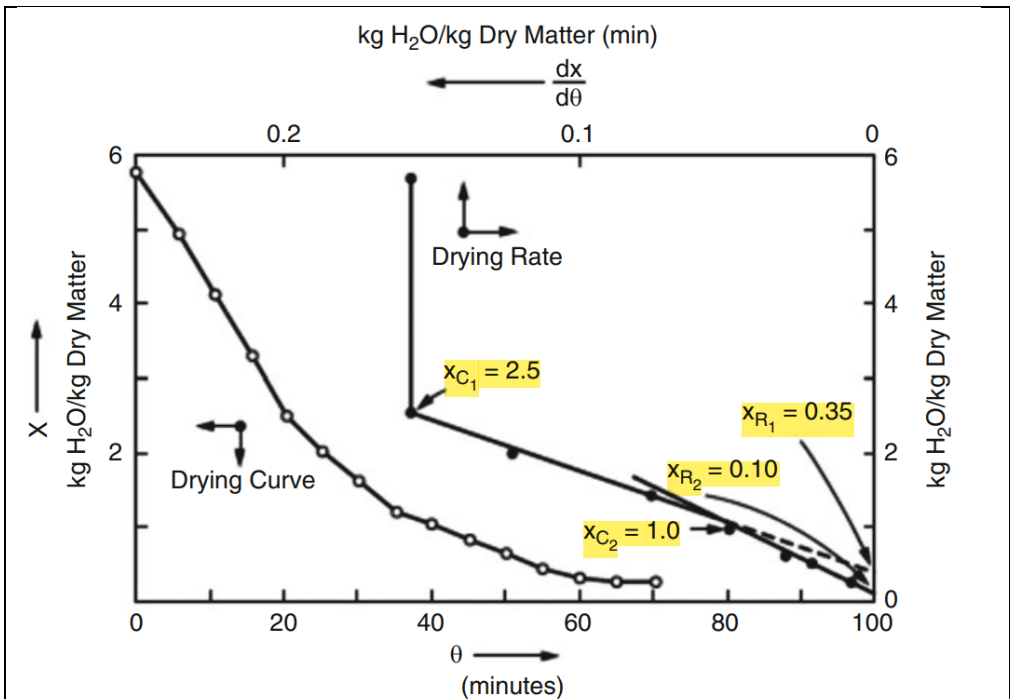
➤ **Hitung total waktu pengeringan**

$$t_{\text{pengeringan}} = t_{\text{constant rate}} + t_{\text{falling rate}}$$

$$t_{\text{pengeringan}} = 5 \text{ menit} + 1,5 \text{ menit}$$

$$t_{\text{pengeringan}} = \mathbf{6,5 \text{ menit}}$$

3. Irisan apel yang telah di blansing dikeringkan dalam *cabinet dryer* dengan laju udara pengering 3,65 m/s pada $T_{db} 76,7 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $T_{wb} 37,8 \text{ }^\circ\text{C}$ pada 40 menit pertama proses pengeringan. Selanjutnya pengeringan berlangsung pada $T_{db} 71,1 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $T_{wb} 43,3 \text{ }^\circ\text{C}$ hingga hingga seluruh proses pengeringan. Berdasarkan data laju pengeringan didapatkan data kurva pengeringan sebagaimana kurva dibawah. Jika laju penguapan konstan air sebesar 0,163 kg H₂O/(menit.kg bahan kering), hitunglah waktu pengeringan irisan apel tersebut dari *moisture content* awal 5,3 kg H₂O/ kg bahan kering hingga *moisture content* mencapai 0,15 kg H₂O/ kg bahan kering!.



Gambar Kurva pengeringan irisan apel segar yang telah di blasing
(Sumber gambar: Toledo *et al*, 2018)

PENYELESAIAN

$$t = \frac{X_0 - X_{c1}}{R_c} + \frac{X_{c1} - X_{r1}}{R_c} \ln \frac{X_{c1} - X_{r1}}{X_{c2} - X_{r1}} + \frac{X_{c1} - X_{r1}}{R_c} \cdot \frac{X_{c2} - X_{r2}}{R_c} \ln \frac{X_{c2} - X_{r2}}{X - X_{r2}}$$

$$t = \frac{5,3 - 2,5}{0,163} + \frac{2,5 - 0,35}{0,163} \ln \frac{2,5 - 0,35}{1,0 - 0,35} + \frac{2,5 - 0,35}{0,163} \cdot \frac{1 - 0,1}{0,163} \ln \frac{1 - 0,1}{0,15 - 0,1}$$

$$t = 17,18 + 15,79 + 210,50$$

$$t = 243 \text{ menit}$$

MUTU PRODUK HASIL PENGERINGAN

Seiring dengan perkembangan teknologi, manusiapun mengalami perubahan gaya hidup. Karena alasan kepraktisan dalam penggunaan, kemudahan dalam penanganan dan penyimpanannya, kecenderungan untuk mengonsumsi produk pangan kering semakin meningkat. Fenomena tersebut dapat kita lihat dengan banyaknya produk pangan kering dalam kemasan, seperti susu bubuk, buah dan sayuran kering, dan rempah-rempah kering (baik dalam bentuk asli maupun dalam bentuk serbuk). Tentu saja, kondisi tersebut menjadi suatu motivasi, tantangan dan peluang tersendiri untuk dapat mendisain proses pengeringan dengan tetap menghasilkan produk kering bermutu tinggi.

Selama proses pengeringan, perubahan mutu pangan sangat sulit dihindari. Terutama pangan yang memiliki komponen yang sensitif terhadap panas. Selama proses pengeringan, perubahan tekstur, kandungan zat gizi, dan bahan-bahan aktif sebisa mungkin



diminimalisir. Meskipun kenyataannya proses pengeringan berpotensi menyebabkan perubahan kualitas fisik dan kimia, terutama karena adanya intervensi panas akibat suhu yang cukup tinggi. Perubahan yang berpotensi terjadi selama pengeringan antara lain: *browning* (berubah warna menjadi coklat), karbonasi (sehingga warna menjadi hitam), *de-naturasi* (seperti penggumpalan dan destruksi), perubahan kimia dan fisika karena reaksi enzimatis, penguapan (untuk bahan aktif yang volatil), serta karamelisasi (kerusakan gula, glukosa, dan turunannya menjadi karamel).



APA DEFINISI MUTU PANGAN?



Mengacu pada **Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012** Tentang Pangan



Pangan adalah segala sesuatu yang berasal dari sumber hayati produk pertanian, perkebunan, kehutanan, perikanan, peternakan, perairan, dan air, baik yang diolah maupun tidak diolah yang diperuntukkan sebagai makanan atau minuman bagi konsumsi manusia, termasuk bahan tambahan pangan, bahan baku pangan, dan bahan lainnya yang digunakan dalam proses penyiapan, pengolahan, dan/atau pembuatan makanan atau minuman



Mutu Pangan

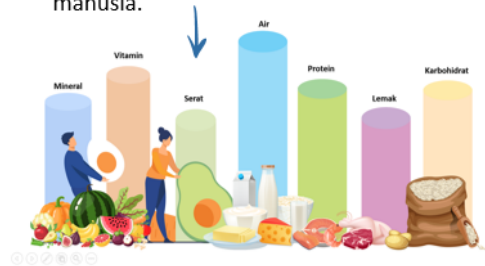
adalah nilai yang ditentukan atas dasar kriteria **keamanan** dan **kandungan gizi** pangan



Keamanan Pangan didefinisikan sebagai kondisi dan upaya yang diperlukan untuk mencegah pangan dari kemungkinan cemaran biologis, kimia, dan benda lain yang dapat mengganggu, merugikan, dan membahayakan kesehatan manusia serta tidak bertentangan dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat sehingga aman untuk dikonsumsi.



Gizi pangan adalah zat atau senyawa yang terdapat dalam pangan yang terdiri atas karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, serat, air, dan komponen lain yang bermanfaat bagi pertumbuhan dan kesehatan manusia.



Berdasarkan **Standar Internasional ISO 8402** yang sudah diadopsi ke dalam **SNI 19-8402-1996 tentang Manajemen Mutu dan Jaminan Mutu**,

Mutu didefinisikan sebagai: keseluruhan gambaran dan karakteristik suatu produk yang berkaitan dengan kemampuan untuk memenuhi atau memuaskan kebutuhan yang dinyatakan secara langsung maupun secara tidak langsung











KONSEP MUTU PANGAN

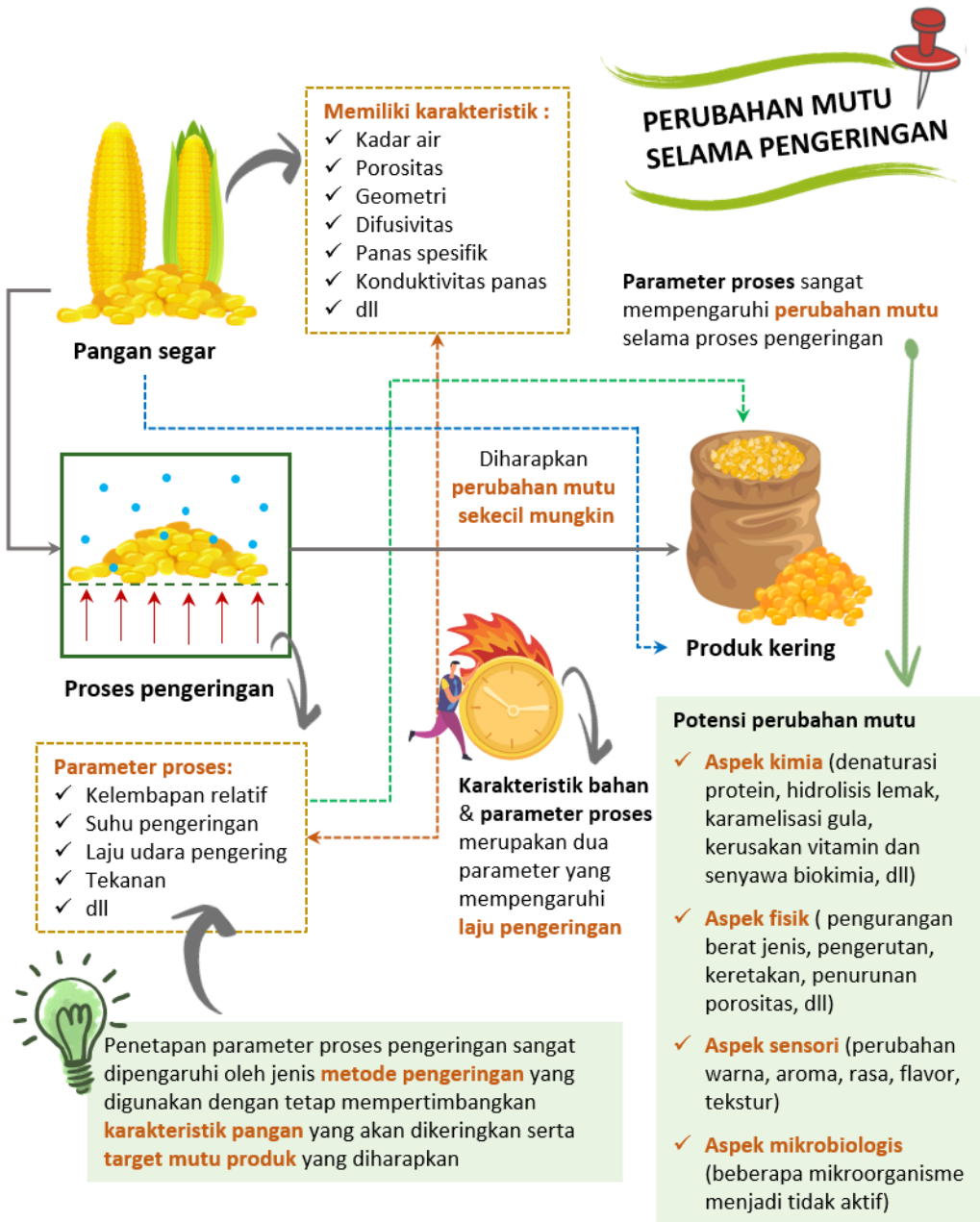
Mutu pangan bisa mengalami penurunan baik karena penanganan pascapanen yang kurang tepat, penyimpanan yang salah maupun penurunan akibat proses pengolahan



Nilai Kadar Air Beberapa Pangan Kering Menjadi Parameter Penentu Mutu

Pangan	Kadar air dan mutu produk	SNI
 Biji kedelai kuning	<ul style="list-style-type: none"> • Kadar air maks. 13% = Mutu I • Kadar air maks. 14% = Mutu II dan III • Kadar air maks. 16% = Mutu IV 	SNI 01-3922-1995
 Beras	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kadar air 14% = Mutu Premium, Medium 1 dan Medium 2 ▪ Kadar air 15% = Mutu Medium 3 	SNI 6128:2015
 Biji kopi hijau	<ul style="list-style-type: none"> • Syarat mutu umum biji kopi maksimal memiliki kadar air 12,5% 	SNI 01-2907-2008
 Daun teh kering	<ul style="list-style-type: none"> • Syarat mutu untuk teh kering dalam kemasan Kadar air maks. 8% • Syarat mutu untuk teh hitam kadar air maks. 7% 	SNI 01-3836-2000 ; SNI 1902:2016
 Bawang merah	<ul style="list-style-type: none"> • Kadar air 80-85% : Syarat Mutu I • Kadar air 75-80% : Syarat Mutu II 	SNI 3159:2013 ; SNI 01-3159-1992
 Pala	Syarat mutu kadar air pala maks. 10%	SNI 0006:2015
 Rumput laut	<ul style="list-style-type: none"> • Syarat mutu rumput laut <i>Carragenophyte</i> : Maks 30% • Syarat mutu rumput laut <i>Agarophyte</i> : Maks 12% • Syarat mutu rumput laut <i>Alginophyte</i> : Maks 15% 	SNI 2690:2015
 Ikan asin	<ul style="list-style-type: none"> • Syarat mutu kadar ikan asin kering maks. 40% 	SNI 2721.1:2009

PERUBAHAN MUTU SELAMA PENGERINGAN





PERUBAHAN MUTU PANGAN PADA PROSES PENGERINGAN

Perubahan yang tidak diinginkan

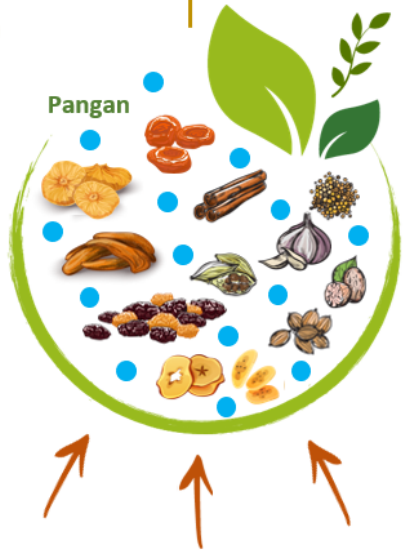
1. Porositas kecil
2. Pengerutan
3. Pengerasan tekstur
4. Terjadi retakan
5. Kalarutan rendah
6. Berkurangnya kemampuan rehidrasi
7. Perubahan warna, rasa dan aroma yang tidak dikehendaki
8. Berkurangnya kandungan zat gizi
9. Kerusakan zat gizi
10. Muncul reaksi yang tidak diinginkan
11. Rusaknya senyawa bioaktif
12. Berkurangnya senyawa volatil

Perubahan yang diinginkan

1. Berkurangnya kadar air sesuai target pengeringan
2. Penurunan aktivitas mikroorganisme, enzim dan potensi reaksi non enzimatis
3. Stabilitas pangan meningkat
4. Umur simpan lebih lama
5. Pengurangan zat gizi, sifat fisik dan atribut sensori sesedikit mungkin

Perubahan yang tidak diinginkan bisa dikurangi dengan

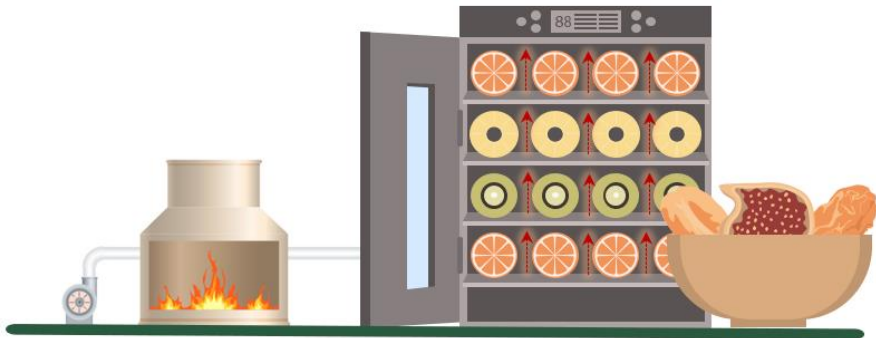
- ✓ Suhu pengeringan rendah
- ✓ Waktu pengeringan yang cepat
- ✓ Penanganan pendahuluan sebelum pengeringan



Perubahan suhu dan konsentrasi air pada pangan selama proses pengeringan pasti akan diikuti berbagai perubahan sifat produk pangan yang telah dikeringkan

Media penghantar panas untuk pengeringan

KESETIMBANGAN MASSA DAN ENERGI PADA SISTEM PENGERING



Seperti yang telah dibahas sebelumnya, bahwa selama proses pengeringan terjadi perpindahan panas dan massa yang terjadi secara simultan, maka pada sistem pengering juga berlaku kesetimbangan massa dan energi. Pada proses pengeringan, massa yang dimaksud adalah massa bahan yang akan dikeringkan. Dengan mengacu pada konsep hukum kekekalan massa: “massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan namun hanya berubah bentuk dari satu wujud ke wujud yang lain”, maka jumlah massa bahan basah yang dikeringkan akan selalu sama dengan massa bahan kering ditambah massa air yang teruapkan selama proses pengeringan. Dengan memahami konsep kesetimbangan massa maka, kita dapat memperkirakan kadar air akhir produk pangan atau memperkirakan massa produk kering.

Selain itu, proses pengeringan juga melibatkan proses perpindahan panas. Panas yang dimaksud adalah panas yang digunakan untuk menaikkan suhu medium pengering, panas untuk menaikkan suhu bahan dan panas untuk menguapkan sejumlah air dari pangan. Mengacu pada konsep hukum kekekalan energi, “energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, namun energi hanya dapat berpindah atau diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya” maka jumlah energi yang digunakan untuk proses pengeringan dapat diperkirakan. Dengan mengetahui jumlah energi yang dibutuhkan dalam sistem pengering, maka informasi tersebut bisa juga digunakan untuk memperkirakan besarnya konsumsi energi yang selanjutnya bisa dikonversi untuk menghitung biaya proses pengeringan.

Remember This

Konsep hukum kekekalan massa:

"Massa tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan namun hanya berubah bentuk dari satu wujud ke wujud yang lain".

Konsep hukum kekekalan energi:

"Energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Energi hanya dapat berpindah atau diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya".

Pada proses pengeringan pangan, terjadi aliran bahan dan panas di dalam sistem.

Dalam hal ini berlaku: **kesetimbangan massa dan energi**

Massa yang masuk ke dalam sistem pengering sama dengan massa yang keluar sistem pengering.

Massa masuk = Massa keluar + Massa Akumulasi
 massa bahan basah = massa air teruapkan + massa bahan kering

Energi yang diberikan pada pengering sama dengan energi yang digunakan dalam sistem pengering

Energi masuk = Energi keluar + Energi Akumulasi
 Energi panas untuk pengeringan = Energi panas untuk menaikkan suhu udara pengering + Energi untuk menaikkan suhu bahan + Energi untuk penguapan air

Massa Air teruapkan

NOTE:

Dalam kondisi **steady state** dimana terjadi saat proses **continue** (berkelanjutan) maka **nilai akumulasi (yang tertinggal dalam sistem) = 0**



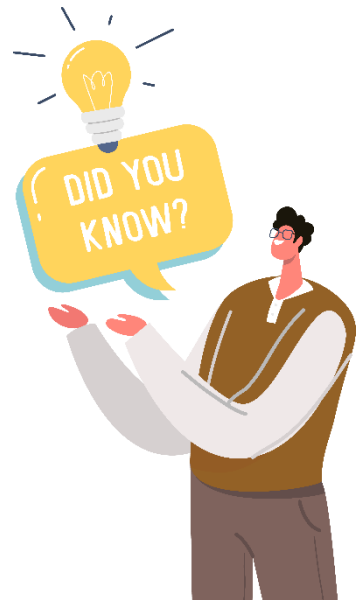
Tahapan untuk menyelesaikan permasalahan kesetimbangan masa:



1. Gambar proses harus lengkap dengan anak panah
2. Masukkan *variable* yang diketahui
3. Jika tidak ada, buat simbol perumpaan. Bisa dibuat asumsi-asumsi atau basis proses
4. Buat persamaan matematika
5. Selesaikan masalah tersebut
6. Buat kesimpulan

Tahapan yang harus dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan kesetimbangan energi adalah sebagai berikut:

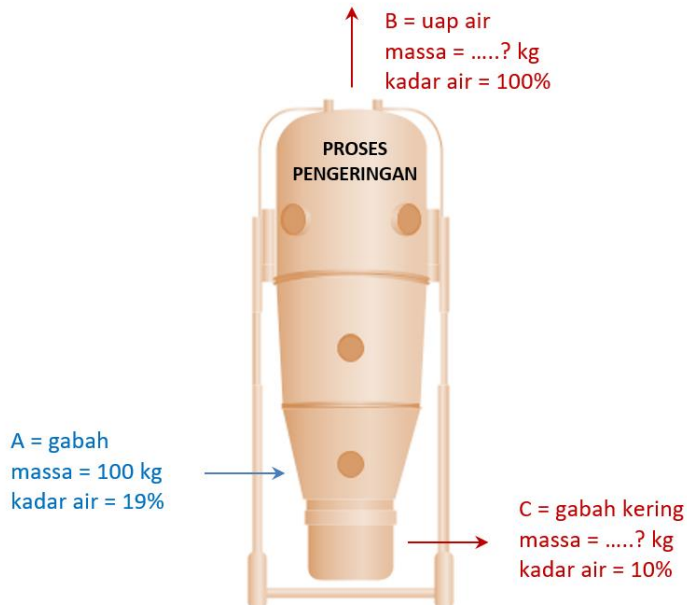
1. Gambarkan diagram yang mencerminkan proses, kemudian dilengkapi dengan informasi-informasi baik *input* maupun *output* yang tersedia. Dalam hal ini batas dari sistem dapat merupakan batas yang nyata (misalnya dinding dari mesin pengering) atau batas yang imajiner.
2. Tetapkan sistem dengan titik-titik yang mengelilingi sistem tersebut.
3. Gunakan simbol atau huruf tertentu untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang telah diketahui
4. Buatlah persamaan kesetimbangan energi dan massa (total komponen) dan selesaikanlah dengan menggunakan persamaan matematika. Gunakan tabel tekanan uap bila diperlukan. Gunakan juga suhu referensi dalam proses perhitungan bila diperlukan.



PENERAPAN KESETIMBANGAN MASSA DAN ENERGI PADA SISTEM PENGERING

1. 100 kg gabah basah dengan kadar air 19% dikeringkan hingga kadar airnya menjadi 10%. Hitunglah rendemen gabah kering dan air yang teruapkan!

PENYELESAIAN



Persamaan neraca massa bahan total (Massa)

Input = Output

$$A = B + C$$

$$100 = B + C \quad (\text{Persamaan 1})$$

Persamaan neraca masa komponen (air)

$$x_A \cdot A = x_B \cdot B + x_C \cdot C$$

$$0,19 \cdot 100 = 1 \cdot B + 0,1 \cdot C$$

$$19 = B + 0,1 \cdot C \quad (\text{Persamaan 2})$$

Perhitungan untuk mencari rendemen gabah kering (Massa)

$$19 = B + 0,1 \cdot C$$

$$100 = B + C \quad (-)$$

$$-81 = -0,9 \cdot C$$

$$C = 90 \text{ kg}$$

Perhitungan untuk mencari massa air yang teruapkan

$$100 = B + C$$

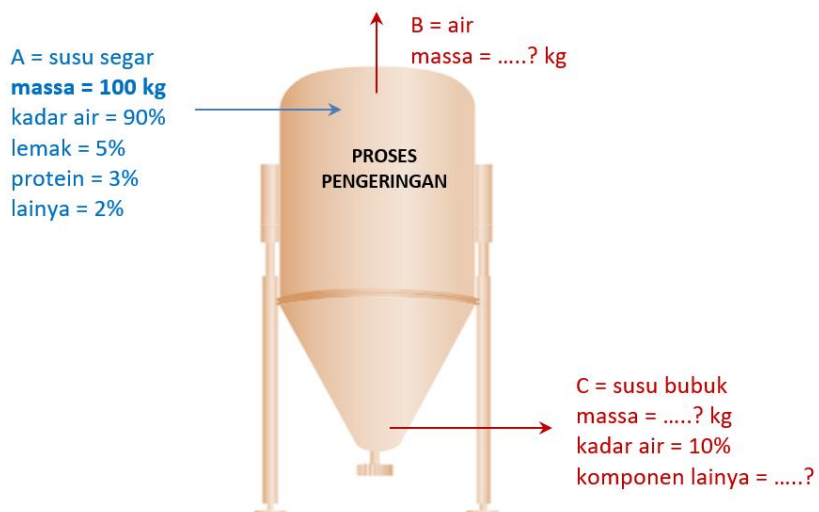
$$100 = B + 90 \text{ kg}$$

$$B = 100 \text{ gr} - 90 \text{ kg}$$

$$B = 10 \text{ kg}$$

Jadi, **rendemen gabah kering** dan **air yang teruapkan** ketika pengeringan sebesar **90 kg** dan **10 kg**.

2. Dalam pembuatan susu bubuk dimasukkan susu segar ke dalam *spray dryer*. Susu segar tersebut terdiri komponen **air 90%**, **lemak 5%**, **protein 3%**, dan **komponen lainnya 2%**. Setelah dikeringkan, susu bubuk mempunyai **kadar air 10%**. Hitunglah **rendemen proses pengeringan** dan **komposisi susu bubuk yang dihasilkan!**



PENYELESAIAN

Persamaan bahan total (Massa)

$$A = B + C$$

$$100 = B + C$$

(Persamaan 1)

Persamaan kesetimbangan air

$$X_A \cdot A = X_B \cdot B + X_C \cdot C$$

$$0,9 \cdot 100 = 1 \cdot B + 0,1 \cdot C$$

$$90 = B + 0,1 \cdot C \quad (\text{Persamaan 2})$$

$$100 = B + C$$

$$90 = B + 0,1 \cdot C \quad (-)$$

$$10 = 0,9 C$$

$$C = 11,1 \text{ kg}$$

$$\text{Lemak} = \frac{5}{11} \times 100\% = 45,5\%$$

$$\text{Protein} = \frac{3}{11} \times 100\% = 27,3\%$$

$$\text{Lain - lain} = \frac{2}{11} \times 100\% = 18,2\%$$

Jadi, **rendemen pengolahan** yang dihasilkan sebesar **11,1 kg** dengan **komposisi susu bubuk** yang dihasilkan **air 10%, lemak 45,5%, protein 27,3%, dan komposisi lainnya 18,2%**

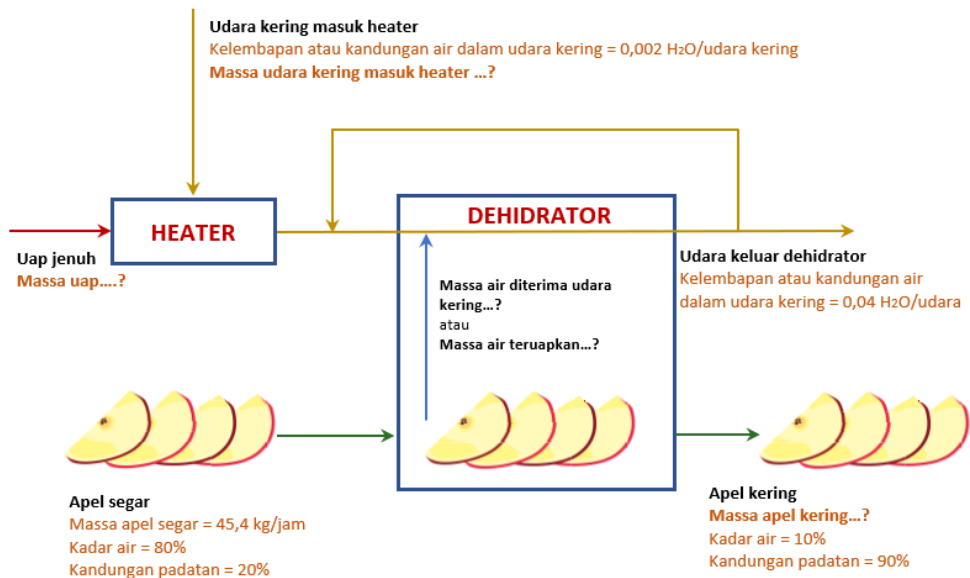
3. Apel segar sebanyak **45,4 kg/jam** dengan **kadar air 80%** pada **suhu 21,1 °C** dikeringkan dalam dehidrator sehingga menghasilkan apel kering dengan **suhu 37,7 °C** dan **kadar air produk 10%**. Sebagai media pengering digunakan udara panas. Udara dari lingkungan bersuhu **21,1 °C** dan **kelembaban udara kering 0,002 kg H₂O/kg udara kering** dipanaskan menggunakan uap dalam penukar panas hingga **udara mencapai suhu 76,7 °C** dengan **kelembaban 0,026 kg H₂O/kg udara kering**. Udara panas ini kemudian bercampur dengan udara panas (dari aliran *recycle*) dengan **suhu 43,3 °C** dan **kelembaban udara kering 0,04 kg H₂O/kg udara**. Hitung jumlah uap jenuh pada suhu **121,1 °C** yang harus dipasok ke dehidrator per jam.

Jika diketahui data pendukung sebagai berikut:

Cp apel	837,36 J/ (kg. K)
Cp udara @ 25 °C	1008 J/ (kg. K)
Cp udara @ 50 °C	1007 J/ (kg. K)
Suhu referensi	0 °C
Entalpi uap jenuh (hg) @ 21,1 °C	2,54017 MJ/kg
Entalpi uap jenuh (hg) @ 43,3 °C	2,5802 MJ/kg
Entalpi cair jenuh (hf) @ 21,1 °C	0,0899 MJ/kg
Entalpi cair jenuh (hf) @ 37,7 °C	0,15845 MJ/kg
Entalpi penguapan (hfg) @ 121 °C	2,19914 MJ/kg

PENYELESAIAN

➤ Gambar diagram neraca massa sistem



➤ Kesetimbangan massa untuk padatan apel

Massa padatan pada apel segar = Massa padatan pada apel kering

(% padatan apel segar) x (massa apel segar) = (% padatan apel kering) x (massa apel kering)

$$(0,2) \times (45,4 \text{ kg/jam}) = (0,9) \times \text{massa apel kering}$$

Massa apel kering = 10,09 kg/jam

➤ Kesetimbangan massa air teruapkan

Massa air teruapkan dari apel = Massa air diterima udara kering

Massa air teruapkan dari apel = Massa apel segar – Massa apel kering

$$\text{Massa air teruapkan dari apel} = 45,4 \text{ kg/jam} - 10,09 \text{ kg/jam}$$

Massa air teruapkan dari apel = 35,31 kg/jam

➤ **Kesetimbangan massa air dalam udara**

Massa air dalam udara kering + Massa air diterima udara kering = Massa air udara basah

$0,002 \text{ H}_2\text{O/udara kering} + \text{Massa air teruapkan dari apel} = 0,04 \text{ H}_2\text{O/udara}$

Massa air diterima udara kering = $0,04 \text{ H}_2\text{O/udara} - 0,002 \text{ H}_2\text{O/udara kering}$

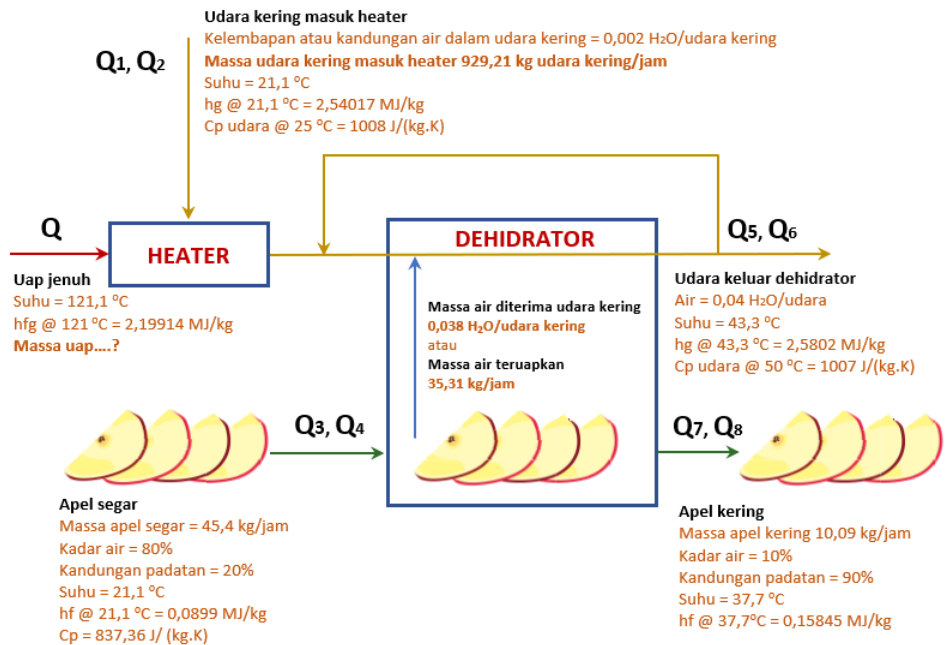
Massa air diterima udara kering = $0,038 \text{ H}_2\text{O/udara kering}$

Jika massa air perjam diterima udara kering sebanding dengan massa air teruapkan dari apel per udara dikali dengan massa udara kering masuk *heater* maka:

$$\text{Massa udara kering masuk heater} = \frac{\text{Massa air teruapkan dari apel}}{\text{Massa air diterima udara kering}}$$

$$\text{Massa udara kering masuk heater} = \frac{35,31 \text{ kg/jam}}{0,038 \text{ H}_2\text{O/udara kering}}$$

Massa udara kering masuk heater = $929,21 \text{ kg udara kering/jam}$



➤ **Kesetimbangan Energi Pada Dehidrator**

Total Q masuk = Total Q keluar

$$Q + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$$

➤ **Perhitungan Energi Pada Dehidrator**

$$Q \text{ masuk} = Q + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Q = Energi uap untuk memanaskan heater

$Q = (\text{massa uap}) \cdot (h_{fg} @ 121,1^\circ\text{C})$

$Q = (\text{massa uap}) \cdot (2,19914 \text{ MJ/kg})$

Q1 = Enthalpy H₂O udara masuk @ 21,1 °C

$Q1 = (\text{massa udara kering}) \cdot (\text{Kelembapan udara kering}) \cdot (H_g @ 21,1^\circ\text{C})$

$Q1 = (929,21 \text{ kg udara kering/jam}) \cdot (0,002 \text{ H}_2\text{O/udara kering}) \cdot (2,54017 \text{ MJ/kg})$

Q1 = 4,7207 MJ

Q2 = Enthalpy udara kering masuk heater @ 21,1 °C

$Q2 = (\text{massa udara kering}) \cdot (C_p \text{ udara @ } 25^\circ\text{C}) \cdot (T \text{ udara kering} - T \text{ referensi})$

$Q2 = (929,21 \text{ kg udara kering/jam}) \cdot (1008 \text{ J/(kg.K)}) \cdot (21,1 - 0) \text{ K}$

Q2 = 19,7435 MJ

Q3 = Enthalpy H₂O apel segar @ 21,1 °C

$Q3 = (\text{massa apel segar}) \cdot (\text{kandungan air apel segar}) \cdot (h_f @ 21,1^\circ\text{C})$

$Q3 = (45,4 \text{ kg/jam}) \cdot (0,8) \cdot (0,0899 \text{ MJ/kg})$

Q3 = 3,2684 MJ

Q4 = Enthalpy padatan dalam apel segar @ 21,1 °C

$Q4 = (\text{massa apel segar}) \cdot (\text{kandungan padatan apel segar}) \cdot (C_p \text{ apel}) \cdot (T \text{ apel} - T \text{ referensi})$

$Q4 = (45,4 \text{ kg/jam}) \cdot (0,2) \cdot (837,36 \text{ J/(kg. K)}) \cdot (21,1 - 0) \text{ K}$

Q4 = 0,16043 MJ

Total Q masuk = (massa uap). (2,19914 MJ/kg) + 4,7207 MJ + 19,7435 MJ + 3,2684 MJ + 0,16043 MJ

Total Q masuk = (massa uap). (2,19914 MJ/kg) + 27.89303 MJ

Q keluar = Q5 + Q6 + Q7 + Q8

Q5 = Enthalpy H₂O keluar dehidrator @ 43,3 °C

$Q5 = (\text{massa udara kering}) \cdot (\text{Kelembapan udara kering}) \cdot (H_g @ 43,3^\circ\text{C})$

$Q5 = (929,21 \text{ kg udara kering/jam}) \cdot (0,04 \text{ H}_2\text{O/udara kering}) \cdot (2,5802 \text{ MJ/kg})$

Q5 = 95,9019 MJ

Q6 = Enthalpy udara kering keluar dehidrator @ 43,3 °C

$Q6 = (\text{massa udara kering}) \cdot (C_p \text{ udara @ } 50 \text{ }^\circ\text{C}) \cdot (T \text{ udara kering} - T \text{ referensi})$

$Q6 = (929,21 \text{ kg udara kering/jam}) \cdot (1007 \text{ J/(kg.K)}) \cdot (43,3 - 0) \text{ K}$

Q6 = 40,5566 MJ

Q7 = Enthalpy H₂O apel kering @ 37,7 °C

$Q7 = (\text{massa apel kering}) \cdot (\text{kandungan air apel kering}) \cdot (h_f \text{ @ } 37,7^\circ\text{C})$

$Q7 = (10,09 \text{ kg/jam}) \cdot (0,1) \cdot (0,15845 \text{ MJ/kg})$

Q7 = 0,15987 MJ

Q8 = Enthalpy padatan apel kering @ 37,7 °C

$Q8 = (\text{massa apel kering}) \cdot (\text{kandungan padatan apel kering}) \cdot (C_p \text{ apel}) \cdot (T \text{ apel} - T \text{ referensi})$

$Q8 = (10,09 \text{ kg/jam}) \cdot (0,9) \cdot (837,36 \text{ J/ (kg. K)}) \cdot (37,7 - 0) \text{ K}$

Q8 = 0,28667 MJ

Total Q keluar = 95,9019 MJ + 40,5566 MJ + 0,15987 MJ + 0,28667 MJ

Total Q keluar = 136,90504 MJ

Persamaan Kesetimbangan Energi

Total Q masuk = Total Q keluar

Q + Q1 + Q2 + Q3 + Q4 = Q5 + Q6 + Q7 + Q8

$(\text{massa uap}) \cdot (2,19914 \text{ MJ}) + 27.89303 \text{ MJ} = \mathbf{136,90504 \text{ MJ}}$

$\text{Massa uap} = \frac{(136,90504 \text{ MJ} - 27,893030 \text{ MJ})}{2,19914 \text{ MJ/kg}}$

Massa uap = 49,5702 kg

REFERENSI

- Adawiyah, D.R.A., & Soekarto, S.T. 2010. *Pemodelan Isotermis Sorpsi Air pada Model Pangan*. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan, 21(1): 33-39.
- Ahmed, N., Singh, J., Chauhan, H., Anjum, P.G.A., & Kour, H. 2013. *Different Drying Methods: Their Applications and Recent Advances*. International Journal of Food Nutrition and Safety, 4(1): 34-42.
- Andrade I., & Flores, H. 2004. *Optimization of spray drying roselle extract (Hibiscus sabdariffa l.)*. Proceedings of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004), Sao Paulo Brazil, 22 - 25th August, Vol. A: 597 – 604.
- Anonymous. (2008). *Siliporite data*. CECA and ATO.
- Apriyanto, M., & Rujiah. 2017. *Kimia Pangan*. Trussmedia Grafika, Yogyakarta.
- Asiah, N., Djaeni, M., & Ching Lik, H. 2017. *Moisture Transport Mechanism and Drying Kinetic of Fresh Harvested Red Onion Bulbs under Dehumidified Air*. International Journal of Food Engineering. 13(9). DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0401>
- Asiah, N., Nurenik, David, W., & Djaeni, M. 2020. *Teknologi Pascapanen Bahan Pangan*. Deepublish, Yogyakarta.
- Barat, J.M., & Grau, R. 2016. *Drying: Principles and Types*. Encyclopedia of Food and Health. Elsevier Ltd. DOI: 10.1016/B978-0-12-384947-2.00240-3
- Barbosa-Canovas, G.V. 1996. *Dehydration of Foods*. International Thomson Publishing, London.
- Barbosa-Canovas, G.V., Fontana Jr, A.J., Schimdt, S.J., & Labuza, T.P. 2007. *Water Activity in Food: Fundamentals and Applications*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Berk, Z. 2009. *Food Process Engineering and Technology*. Academic Press, New York.

- Bonazzi, C., & Dumoulin, E. 2011. *Quality Changes in Food Materials as Influenced by Drying Processes*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. DOI: 10.1002/9783527631667.ch1
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á.A., & Figiel, A. 2020. *Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs*. *Foods*, 9(1261): 1-27.
- Callahan, C.W., Elansari, A.M., & Fenton, D.L. 2019. *Psychrometrics*. Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities, Pages 271-310. DOI: 10.1016/B978-0-12-813276-0.00008-0
- Chen, X.D., & Mujumdar, A.S. 2008. *Drying Technologies in Food Processing*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
- Djaeni, M., Asiah, N., & Sasongko, S.B. 2015. *Aplikasi Sistem Pengering Adsorpsi untuk Bahan Pangan Aditif*. Unnes Press, Semarang.
- Djaeni, M., Suherman., & Sumardiono, S. 2014. *Advance Drying Technology for Heat Sensitive Products*. UNDIP Press, Semarang.
- Faridah, A., Yuliana., & Holinesti, R. 2013. *Ilmu Bahan Makanan Bersumber dari Nabati*. Gifari Prasetama, Jakarta Selatan.
- Fauzana, Y. E., & Salbiah. 2020. *Menangkap Pancaran Gelombang. Fisika Paket C Setara SMA/MA Kelas XII*. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Fellows, P.J. 2017. *Food Processing Technology Principles and Practice Fourth Edition*. Woodhead Publishing, New York.
- Guiné, R.P.F. 2018. *The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties*. *International Journal of Food Engineering*, 4(2): 93-100.
- Hariyadi, P. 2013. *Freeze Drying Technology: for Better Quality & Flavor of Dried Products*. *Food Review Indonesia*, 8(2): 52-57.

- Hayashi, H. 1989. *Drying Technologies of Foods -Their History and Future*. Drying Technology, 7(2): 315–369.
- Hii, C.L., S.V., Chiang, C.L., & Mujumdar, A.S. 2013. *Processing and Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. URL: <https://id1lib.org/book/2818537/141d6d>
- Ibarz, A. & Barbosa-Cánovas, G.V. 2003. *Unit Operations in Food Engineering*. CRC PRESS, Washington, D.C.
- Indiarto, R., Asyifaa, A.H., Adiningsih, F.C.A., Aulia, G.A., & Achmad, S.R. 2021. *Conventional And Advanced Food-Drying Technology: A Current Review*. International Journal of Scientific & Technology Rersearch, 10(1): 99-107.
- Jangam, S.V., Law, C.L., & Mujumdar, A.S. 2010. *Drying of Foods, Vegetables and Fruits (Volume 1)*. National University of Singapore, Singapore.
- Jangam, S.V., Mujumdar, A.S., & Adhikari, B. 2016. *Drying: Physical and Structural Changes*. Encyclopedia of Food and Health. Elsevier Ltd. DOI: [10.1016/B978-0-12-384947-2.00241-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00241-5)
- Joardder, M.U.H., & Masud, M.H. 2019. *A Brief History of Food Preservation*. Springer Nature Switzerland AG 2. DOI: [10.1007/978-3-030-11530-2_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11530-2_3)
- Kudra, T. 2004. *Energy aspects in drying*. Drying Technology, 22(5): 917-932.
- Kudra, T., & Mujumdar, A.S. 2002. *Advanced Drying Technology*. Marcel Dekker Inc., New York.
- Kumalaningsing, S. 2016. *Rekayasa Komoditas Pengolahan Pangan*. UB Press, Malang.
- Kusnandar, F., Hariyadi, P., & Syamsir, E. 2006. *Prinsip Teknik Pangan*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Kusnandar, F., Rahayu, W.P., Marpaung, A.M., & Santoso, U. 2020. *Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid I*. Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI). Penerbit IPB Press, Bogor.

- Kusnandar, F., Rahayu, W.P., Marpaung, A.M., & Santoso, U. 2020. *Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid II*. Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI). Penerbit IPB Press, Bogor.
- Labuza, T.P. 1980. *Effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration*. Food Technology. URL: <https://www.researchgate.net/publication/239667138>
- Lutovska, M., Mitrevski, V., Geramitcioski, T., Mijakovski, V., & Andreevski, I. 2016. *Water Activity VS. Equilibrium Moisture Content Vodena Aktivnost Nasuprot Ravnotezne Vlaznosti Materijala*. Journal on Processing and Energy in Agriculture, 20(2): 69-72.
- Mamuaja, C.F. 2016. *Pengawasan Mutu dan Keamanan Pangan*. UNSRAT Press, Manado.
- Marrone, T. 2018. *The Beginner's Guide to Dehydrating Food. How to Preserve All Your Favorite Vegetables, Fruits, Meat, and Herbs*. Storey Publishing.
- Masud, M.H., Karim, A., Ananno, A.A., & Ahmed, A. 2020. *Sustainable Food Drying Techniques in Developing Countries: Prospects and Challenges*. Springer Nature Switzerland AG. DOI: 10.1007/978-3-030-42476-3
- Mounir, S. 2017. *Foam Mat Drying*. ResearchGate. URL: <https://www.researchgate.net/publication/320566592>
- Muhammad, J.I., Abbas, A., Rafique, H., Nawaz, F.M., & Rasool, A. 2018. *A review paper on foam-mat drying of fruits and vegetables to develop powders*. MOJ Food Processing & Technology, 6(6): 465–467.
- Mujumdar, A.S. 2015. *Handbook of Industrial Drying Fourth Edition*. CRC Press, Boca Raton.
- Pragati, S., & Preeti, B. 2014. *Technological Revolution in Drying of Fruit and Vegetables*. International Journal of Science and Research, 3(10): 705-711.
- Ratti, C. 2009. *Advances in Food Dehydration*. CRC Press, Boca Raton.

Sabarez, H. 2016. *Drying of Food Materials*. Food Science. Elsevier Inc. DOI: [10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03416-8)

Safefood 360, Inc. 2014. *Water Activity in Foods*. Part of Our Professional Whitepapers Series. URL: <https://safefood360.com/resources/Water-Activity.pdf>

Saravacos, G.D., & Kostaropoulos, A.E. 2002. *Handbook of Food Processing Equipment*. Plenum Publishers, New York.

Shen, L., Zhu, Y., Liu, C., Wang, L., Liu, H., Kamruzzaman, M., Liu, C., Zhang, Y., & Zheng, X. 2020. *Modelling of moving drying process and analysis of drying characteristics for germinated brown rice under continuous microwave drying*. *Biosystems Engineering*, 195(2020): 64-88.

Singh, R.P., & Heldman, D.R. 2009. *Introduction to Food Engineering Fourth Edition*. Academic Press, New York.

SNI 19-8402-1996 tentang Manajemen Mutu dan Jaminan Mutu

SNI 01-3922-1995 Untuk Kedelai

SNI 01-3836-2000 Untuk Teh Kering Dalam Kemasan

SNI 01-3159-1992 Untuk Bawang merah

SNI 01-2907-2008 Untuk Biji Kopi

SNI 0006:2015 Untuk Pala

SNI 1902:2016 Untuk Teh Hitam

SNI 2690:2015 Untuk Rumput Laut Kering

SNI 2721.1:2009 Untuk Ikan Asin Kering

SNI 3159:2013 Untuk Bawang merah (*Allium cepa var. ascalonicum*)

SNI 6128:2015 Untuk Beras Giling

- Togrul, I.T., & Pehlivan, D. 2004. *Modelling of thin layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process*. Journal of Food Engineering 65(2004): 413–425.
- Toledo, R.T., Singh R.K., & Kong, F. 2018. *Fundamentals of Food Process Engineering Fourth Edition*. Springer International Publishing, New York.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2012. Tentang Pangan.
- Waziroh, E., Ali, D.Y., & Istianah, N. 2017. *Proses Termal Pada Pengolahan Pangan*. UB Press, Malang.
- Wernecke, R. & Wernecke, J. 2014. *Industrial Moisture and Humidity Measurement*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Woo, M.W. & Bhandari, B. 2013. *Spray drying for food powder production*. Woodhead Publishing Limited. DOI: 10.1533/9780857098672.1.29

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. Konsep Dasar 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



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



**Bila kamu tidak tahan lelahnya belajar,
maka kamu harus tahan menanggung
perihnya kebodohan**

(Imam Syafi'i)
