

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengerinan

Pengerinan merupakan suatu metode pengawetan dengan cara mengurangi kadar air bahan pangan sehingga memiliki daya simpan yang cukup lama. Menurut Arianto (2010) dan Hargono (2012) bahwa kadar air pada produk pangan yang aman disimpan dan untuk diolah lagi adalah 15% atau kurang maka aktivitas mikroba, bakteri, dan jamur menjadi terhambat sehingga jagung dapat dipasarkan ke tempat jauh dan akan tahan lama. Dari proses pengerinan, hasil yang diperoleh ialah bahan akhir yang memiliki kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) atau setara dengan nilai aktifitas air (A_w) yang aman dari kerusakan mikrobiologis.

2.1.1 Prinsip Dasar Pengerinan

Prinsip dasar proses pengerinan adalah proses terjadinya pindah panas dari alat pengerinan dan difusi air (pindah massa) dari bahan yang dikeringkan. Proses pindah panas air tersebut memerlukan perubahan fase air dari cair menjadi uap, sehingga proses perubahan tersebut memerlukan panas laten. Menurut Djaeni, dkk (2011) pengerinan dengan pemanasan konveksi (oven, fluidisasi) dimana udara panas dihasilkan melalui proses pemanasan baik dengan steam, listrik, atau gas hasil pembakaran, lebih handal dari pengerinan matahari. Namun kualitas produk mengalami penurunan akibat introduksi panas, dan efisiensi pengerinan rendah atau boros energi. Bahkan pada pengerinan jagung dengan suhu $>60^{\circ}$ C terjadi kerusakan pada tekstur dan kandungan proteinnya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengerinan ada dua yaitu faktor yang berhubungan dengan udara pengerinan seperti suhu, kecepatan aliran udara pengerinan, dan kelembaban udara, sedangkan faktor yang berhubungan dengan sifat bahan yang dikeringkan berupa ukuran bahan, kadar air awal, dan tekanan parsial dalam bahan. Proses pengerinan dengan memanfaatkan perpindahan panas, dapat terjadi melalui dua cara yaitu pengerinan langsung dan pengerinan tidak langsung.

Pengeringan bertujuan untuk memperpanjang umur simpan dengan cara mengurangi kadar air untuk mencegah tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme pembusuk. Dalam proses pengeringan dilakukan pengaturan terhadap suhu, kelembaban (humidity) dan aliran udara. Perubahan kadar air dalam bahan pangan disebabkan oleh perubahan energi dalam sistem. Untuk itu, dilakukan perhitungan terhadap neraca energi untuk mencapai keseimbangan. Produk kering dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan produk baru (Napitupulu, 2012).

2.1.2 Kriteria Pemilihan Alat Pengering

Di samping pertimbangan ekonomi, pemilihan alat pengering juga ditentukan oleh faktor-faktor berikut :

- Kondisi bahan yang dikeringkan (bahan padat yang dapat mengalir, pasta, suspensi).
- Sifat-sifat bahan yang dikeringkan (misalnya apakah menimbulkan bahaya kebakaran, ketahanan panas, bersifat oksidasi).
- Jenis cairan yang terkandung dalam bahan yang dikeringkan (air, pelarut organik, dapat terbakar, beracun, korosif).
- Kuantitas bahan yang dikeringkan.
- Operasi kontinyu atau tidak kontinyu. (Bernasconi, dkk.,1995)

2.1.3 Jenis-Jenis Pengering

1. Spray Dryer

Metode *spray dryer* adalah mengeringkan cairan dengan cara mengkontakkan butiran-butiran cairan dengan arah berlawanan atau searah dengan udara panas. Kecepatan umpan, suhu pengeringan dan kecepatan udara pengering dapat diatur sehingga dapat dioperasikan secara kontinu untuk mencapai kapasitas tertentu. Kelembaban udara diturunkan dengan melewati udara dalam kolom adsorben yang akan menyerap uap air didalamnya sebelum masuk ke ruang pemanas.

Kelebihan *Spray Drying*

1. Kapasitas pengeringan besar dan proses pengeringan terjadi dalam waktu yang sangat cepat. Kapasitas pengeringan mencapai 100 ton/jam.
2. Tidak terjadi kehilangan senyawa volatile dalam jumlah besar (aroma)
3. Cocok untuk produk yang tidak tahan pemanasan (tinggi protein)
4. Memproduksi partikel kering dengan ukuran, bentuk, dan kandungan air serta sifat-sifat lain yang dapat dikontrol sesuai yang diinginkan
5. Mempunyai kapasitas produksi yang besar dan merupakan system kontinyu yang dapat dikontrol secara manual maupun otomatis.

Kekurangan *Spray Drying*

1. Memerlukan biaya yang cukup tinggi
2. Hanya dapat digunakan pada produk cair dengan tingkat kekentalan tertentu
3. Tidak dapat diaplikasikan pada produk yang memiliki sifat lengket karena akan menyebabkan penggumpalan dan penempelan pada permukaan alat.



Sumber: Indonesian Alibaba

Gambar 2.1 Alat *spray dryer*

2. *Tray Dryer*

Pengering baki (*tray dryer*) disebut juga pengering rak atau pengering kabinet, dapat digunakan untuk mengeringkan padatan bergumpal atau pasta, yang ditebarkan pada baki logam dengan ketebalan 10-100 mm. Pengeringan jenis baki atau wadah adalah dengan meletakkan material yang akan dikeringkan pada baki yang langsung berhubungan dengan media pengering. Cara perpindahan panas yang umum digunakan adalah konveksi dan perpindahan panas secara konduksi juga dimungkinkan dengan memanaskan baki tersebut.

Keuntungan *tray dryer* sebagai berikut :

1. Laju pengeringan lebih cepat
2. Kemungkinan terjadinya *over drying* lebih kecil
3. Tekanan udara pengering yang rendah dapat melalui lapisan bahan yang dikeringkan (Revitasari, 2010).

Kelemahan *tray dryer* sebagai berikut:

1. Kecenderungan tray terbawah panas dan tray teratas kurang panas
2. Efisiensi rendah.



Sumber : myteknikkimiablogaddress.blogspot.com

Gambar 2.2 Alat *Tray dryer*

3. *Rotary Dryer*

Rotary dryer atau bisa disebut *drum dryer* merupakan alat pengering berbentuk sebuah drum yang berputar secara kontinyu yang dipanaskan dengan

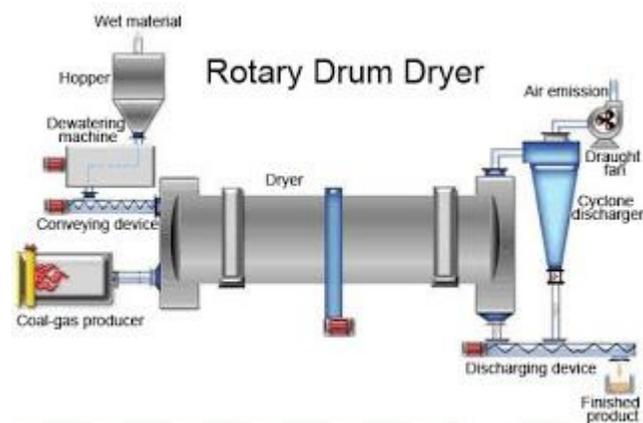
tungku atau *gasifier*. Alat pengering ini dapat bekerja pada aliran udara melalui poros silinder pada suhu 1200-1800°F tetapi pengering ini lebih seringnya digunakan pada suhu 400-900°F. Pengering *rotary dryer* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granula, gumpalan partikel padat dalam ukuran besar.

Keuntungan penggunaan rotary/drum dryer sebagai alat pengering adalah:

1. Dapat mengeringkan baik lapisan luar ataupun dalam dari suatu padatan
2. Penanganan bahan yang baik sehingga menghindari terjadinya atrisi
3. Proses pencampuran yang baik, memastikan bahwa terjadinya proses pengeringan bahan yang seragam/merata
4. Efisiensi panas tinggi
5. Operasi sinambung
6. Instalasi yang mudah
7. Menggunakan daya listrik yang sedikit

Kekurangan dari penggunaan pengering drum diantaranya adalah :

1. Dapat menyebabkan reduksi kuran karena erosi atau pemecahan
2. Karakteristik produk kering yang inkonsisten
3. Efisiensi energi rendah
4. Perawatan alat yang susah
5. Tidak ada pemisahan debu yang jelas (Heriana, dkk., 2012).



Sumber : myteknikimiablogaddress.blogspot.com

Gambar 2.3 Alat *Rotary Drum Dryer*

4. *Fluidized Bed Dryer*

Pengeringan hamparan terfluidisasi (*Fluidized Bed Drying*) adalah proses pengeringan dengan memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hamparan bahan sehingga hamparan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida.

Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering. Pengeringan ini banyak digunakan untuk pengeringan bahan berbentuk partikel atau butiran, baik untuk industri kimia, pangan, keramik, farmasi, pertanian, polimer dan limbah. Proses pengeringan dipercepat dengan cara meningkatkan kecepatan aliran udara panas sampai bahan terfluidisasi.

Kelebihan pengering sistem fluidisasi:

1. Aliran bahan yang menyerupai fluida mengakibatkan bahan mengalir secara kontinyu sehingga otomatis memudahkan operasinya.
2. Pencampuran atau pengadukan bahan menyebabkan kondisi bahan hampir mendekati isothermal.
3. Sirkulasi bahan diantara dua fluidized bed membuatnya memungkinkan untuk mengalirkan sejumlah besar kalor yang diperlukan ke dalam ruang pengering yang besar.
4. Pengering tipe fluidisasi cocok untuk skala besar.
5. Laju perpindahan kalor dan laju perpindahan massa uap air antara udara pengering dan bahan sangat tinggi dibandingkan dengan pengering metode kontak yang lain.
6. Pindah kalor dengan menggunakan pengering tipe fluidisasi membutuhkan area permukaan yang relatif kecil.
7. Sangat ideal untuk produk panas sensitif dan non-panas sensitif

Kekurangan pengering sistem fluidisasi:

1. Sulit untuk menggambarkan aliran dari udara panas yang dihembuskan ke ruang pengering, dikarenakan simpangan yang besar dari aliran udara yang masuk dan bahan terlewat oleh gelembung udara, menjadikan sistem kontak/singgungan tidak efisien.
2. Pencampuran atau pengadukan bahan padatan yang terus menerus pada hamparan akan menyebabkan ketidakseragaman waktu diam bahan di dalam ruang pengering, karena bahan terus menerus terkena hembusan udara panas.
3. Tidak dapat mengolah bahan yang lengket atau berkadar air tinggi dan abrasif.



Sumber : myteknikkimiablogaddress.blogspot.com

Gambar 2.4 Alat *Fluidized Bed Dryer*

5. *Freeze Dryer*

Freeze Dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk kedalam *Conduction Dryer / Indirect Dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah / lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Hal ini menunjukkan bahwa

perpindahan panas terjadi secara hantaran (konduksi), sehingga disebut juga *Conduction Dryer/ Indirect Dryer*. pengeringan beku memiliki keunggulan mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya produk yang sensitif terhadap panas.

Keunggulan pengeringan beku, dibandingkan metoda lainnya, antara lain adalah :

1. Dapat mempertahankan stabilitas produk (menghindari perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lain)
2. Dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan (pengkerutan dan perubahan bentuk setelah pengeringan sangat kecil)
3. Dapat meningkatkan daya rehidrasi (hasil pengeringan sangat berongga dan *lyophile* sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).

Keunggulan-keunggulan tersebut tentu saja dapat diperoleh jika prosedur dan proses pengeringan beku yang diterapkan tepat dan sesuai dengan karakteristik bahan yang dikeringkan. Kondisi operasional tertentu yang sesuai dengan suatu jenis produk tidak menjamin akan sesuai dengan produk jenis lain.

Kekurangan pengeringan beku (*freeze drying*)

Karena tingkat pendinginan yang kurang rendah suhunya dan relative tidak stabil sehingga tidak menjamin keawetan produk pangan yang dibekukan (Haryani, dkk., 2012).

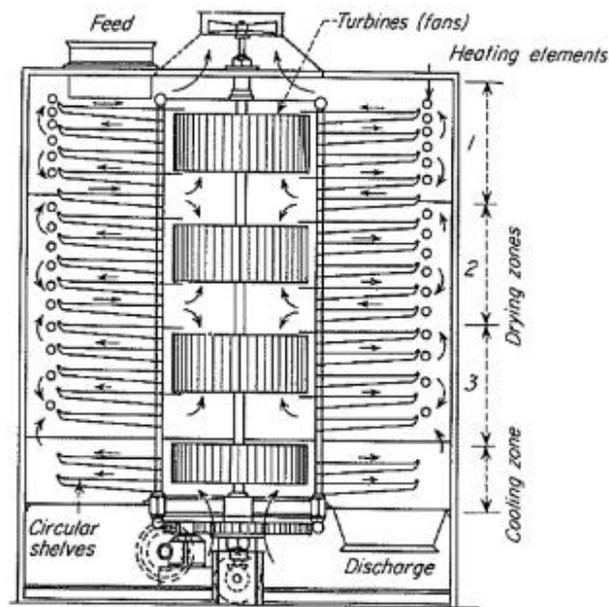


Sumber : myteknikkimiablogaddress.blogspot.com

Gambar 2.5 Alat *freeze drying*

6. *Circulating Dryer*

Bahan lembab diletakkan di atas lempeng-lempeng pengering. Lempeng disusun satu di atas lainnya pada sebuah kerangka yang tetap atau yang dapat digeser-geser. Kerangka ini berada di dalam rumah yang biasanya berbentuk siku-siku. Dengan bantuan sebuah ventilator, udara panas (yang misalnya telah dipanaskan oleh steam di dalam suatu alat penukar panas) dihisap masuk dan mengalir horizontal di atas lempenglempeng yang dimuati bahan yang dikeringkan. Pada saat yang sama, bidang-bidang penyalur (pengganggu aliran) yang terpasang di dalam alat akan mengatur distribusi udara secara merata. (Bernasconi, dkk., 1995)

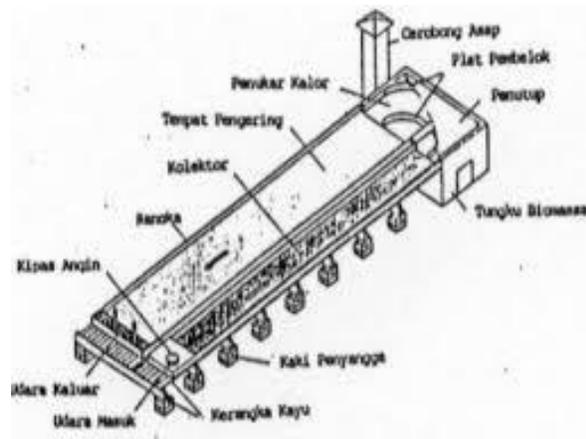


Sumber : docplayer.info

Gambar 2.6 Alat *Circulating dryer*

7. *Belt Dryer*

Bahan lembab dengan bentuk tertentu (misalnya butir-butir, serpih-serpih, potongan-potongan) diletakkan secara merata dalam bentuk lapisan yang tipis di atas sabuk pengangkut (terbuat dari anyaman kawat atau lempeng berlubang-lubang) yang bergerak maju dengan lambat. (Bernasconi, dkk., 1995).



Sumber : Slideshare.net

Gambar 2.6 Alat *Belt Dryer*

8. *Vacuum Self Dryer*

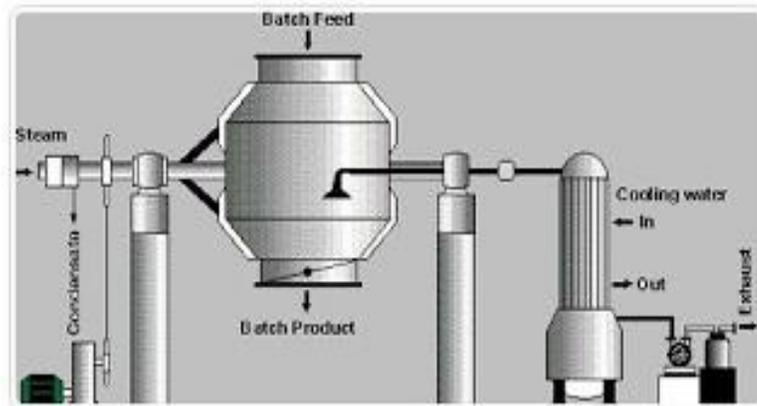
Bahan lembab ditempatkan pada lempeng-lempeng pengeringan yang diletakkan di atas plat yang dipanaskan (misalnya dipanaskan dengan steam). Uap yang terbentuk dihisap keluar dari pengering dengan bantuan pompa vakum dan disalurkan ke kondensor. (Bernasconi, dkk., 1995).

Kelebihan *vacum drying*

1. Penguapan lebih cepat pada tekanan rendah dari pada tekanan tinggi
2. Diguakan untuk bahan yang peka terhadap suhu atau mudah teroksidasi
3. Waktu pengeringan cepat
4. Temperature rendah
5. Energi yang digunakan sedikit

Kekurangan *vacum drying*:

- Biaya operasi relatif mahal.



Sumber : myteknikkimiablogaddress.blogspot.com

Gambar 2.5 Alat *vacum drying*

9. *Double Cone Dryer*

Bahan yang lembab dan dapat ditaburkan digulingkan di dalam tangki yang berputar perlahan mengelilingi sebuah poros yang melintang. Tangki berbentuk kerucut dalam kedua sisinya. Pemanasan berlangsung dengan adanya mantel ganda yang terpasang di sebelah luar tangki dan biasanya dipanaskan dengan steam. Uap yang terbentuk dihisap pompa vakum melalui pipa penyalur uap yang diam dan menyorok ke tangki. Uap juga melewati filter dan dilanjutkan ke sebuah kondensor. (Bernasconi, dkk.,1995).



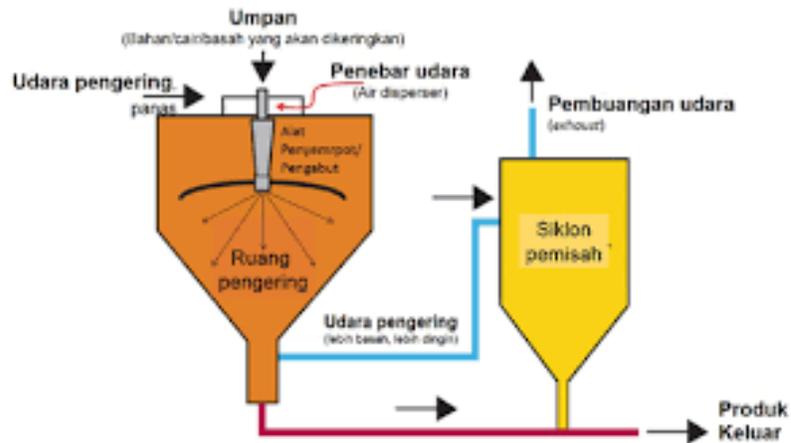
Sumber : <http://indonesian.spray-dryingmachine.com/>

Gambar 2.5 Alat *Double cone dryer*

2.1.4 Alat Pengering Tipe *Spray Dryer*

Spray Dryer adalah suatu metode menghasilkan bubuk kering dari cairan atau bubur dengan cara mengeringkannya dengan cepat menggunakan gas panas. *Spray dryer* adalah unit peralatan yang dipakai dalam proses pengeringan dengan komponen utama adalah atomizer. Atomizer berfungsi untuk mengkabutkan susu sehingga luas permukaan susu meningkat dan memudahkan penguapan air.

Prinsip kerja alat ini adalah dengan cara menyemprotkan susu dalam bentuk droplet yang berukuran kecil ke dalam udara panas sehingga air terdapat pada pori-pori bahan akan terdifusi keluar dan menguap (Widodo, 2003). Sebagai produk akhir adalah susu bubuk.



Sumber : *Foodreview Indonesia*

Gambar 2.1 Skema *Spray Dryer*

Menurut Suwedo-Hadiwiyoto (1983), penggunaan *spray dryer* akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan *drum dryer* karena partikel susu yang dihasilkan lebih halus. Namun demikian, rekonstitusinya tidak mudah larut karena perubahan kimia dan fisika yang terjadi selama proses pengeringan. Susu Jagung yang dibuat dari jagung utuh (tanpa penghilangan lemak) akan lebih sulit direkonstitusi dan memiliki umur simpan lebih pendek. Hal ini terjadi karena kerusakan senyawa penyusun jagung selama pengeringan seperti protein yang akan

terdenaturasi membentuk ikatan silang yang dapat berkurang kelarutannya dan oksidasi lemak menghasilkan senyawa bersifat volatil yang akan menimbulkan citarasa yang tidak diinginkan (Hackler dan Stillings, 1967 dalam Maria, 2004).

Pengeringan *spray* adalah teknik di industri yang telah banyak dilakukan pada pengeringan dan penyerbukan skala besar material yang sangat sensitif terhadap temperatur/termal. Pada emulsi susu, teknik pengeringan ini merubah emulsi menjadi sejumlah besar butiran dengan menggunakan 'atomiser' yang terjatuh ke dalam ruang *spray* (*spray chamber*) yang didalamnya mengalir udara panas dari blower yang dipanaskan oleh *heater* (pemanas). Menyebabkan air menguap, dan butiran ini menjadi partikel-partikel padatan. Di ruang ini terjadi pemisahan antara padatan dengan uap/gas/udara. Padatan dalam bentuk butiran susu ini memiliki masa jenis yang lebih besar dari udara panas akan jatuh kebawah, sedangkan udara dengan masa jenis yang lebih ringan akan bergerak ke atas (Anonim, 2009).

Berdasarkan arah alirannya *spray dryer* dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Aliran searah

Dalam *spray dryer* cairan atau pasta akan terdistribusi halus, maka bidang kontak dengan udara panas sangat besar, sehingga waktu maksimum pengeringan hanya beberapa detik. Dengan demikian waktu tinggal di dalam menara pengering juga beberapa detik lamanya karena partikel yang akan dikeringkan mempunyai kecepatan jatuh yang relatif besar maka diperlukan menara yang tinggi. Kecepatan jatuh dapat dikurangi dan waktu tinggal dapat diperpanjang dengan membiarkan udara panas mengalir masuk secara tangensial di bagian atas menara (aliran searah), dengan cara ini dapat digunakan menara yang rendah (10-20 m).

Pada alat pengering aliran searah, pemisahan kasar produk kering dari udara lembab berlangsung dari bagian bawah menara (misalnya dengan perlengkapan yang menyerupai siklon). Pemisahan halus dilakukan dalam alat pemisah debu yang dihubungkan dengan alat pengering (misalnya siklon filter

debu dan bila diperlukan : pencuci). Sebuah kemungkinan lain untuk dapat menggunakan menara rendah (3-5 m) ialah dengan melakukan pengeringan dalam dua tahap. Tahap pertama (penghilangan kelembaban permukaan) berlangsung di dalam menara, sedangkan tahap kedua (penghilangan kelembaban kapiler) dilakukan dalam alat pengering, pneumatik yang berada di luar menara dan dihubungkan dengan menara tersebut. Pemisahan produk dari udara panas yang telah menjadi lembab terjadi di bagian akhir pengering dengan bantuan siklon dan atau filter debu.(Bernasconi, dkk,1995)

2. Aliran Berlawanan Arah

Bahan yang sesuai digunakan untuk spray dryer adalah larutan atau pasta yang dipompa atau slurry. Bahan diatomisasi di dalam sebuah nozzle kemudian dikontakkan dengan udara panas atau gas hasil pembakaran dan dibawa keluar dari alat dengan sebuah konveyor tipe pneumatik atau mekanik. Pengumpulan material yang halus dengan separator siklon atau filter adalah bagian dari sebuah operasi dryer.

Spray dryer berlawanan arah mempunyai aliran yang sebagian besar aliran umpannya kebawah sehingga vassel dari dryer lebih tipis dan lebih tinggi. Aliran berlawanan arah ini mempunyai panas yang lebih efisien yang mengakibatkan berkurangnya luasan partikel tetapi kerugiannya pada produk yang peka terhadap panas karena terkena suhu tinggi saat meninggalkan dryer.

Dua karakter utama dari spray dryer yaitu waktu tinggal cepat dan porositas produk yang kecil. waktu tinggal yang cepat adalah keuntungan utama untuk bahan yang peka terhadap panas. Porositas dan ukuran yang kecil diperlukan apabila bahan akan dilarutkan seperti makanan atau detergen.

Waktu tinggal dari gas pada spray dryer adalah perbandingan antara volume tangki dengan kecepatan aliran volumetrik gas. Adanya aliran turbulen maka waktu tinggal partikel rata-rata lebih besar daripada waktu tinggal rata-rata udara, hal ini berlaku untuk aliran yang berlawanan arah. Kelembaban permukaan dipindahkan dengan cepat dalam waktu 5 detik. Operasi pengeringan umumnya diselesaikan dalam waktu 5-30 detik.

Pendistribusian waktu tinggal dari partikel tergantung pada perlakuan pencampuran dan distribusi ukuran. Partikel yang kasar membutuhkan waktu pengeringan yang lama. Pada aliran berlawanan arah dibutuhkan udara dengan temperatur lebih tinggi daripada aliran searah.(Walas, M. Stenley, 1988).

2.2 Perpindahan Panas

Kuantitas panas yang diperlukan untuk pengeringan terdiri atas :

- Panas untuk memanaskan bahan yang dikeringkan hingga mencapai suhu pengeringan.
- Panas penguapan untuk mengubah cairan ke fase uap.
- Panas yang hilang ke lingkungan

Dalam proses pengeringan terjadi proses perpindahan panas yang terbagi menjadi dua cara yaitu konduksi (hantaran), konveksi. Media pemanas yang digunakan antara lain : udara dan steam

2.2.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses dengan panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energy terjajadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Menurut teori kinetic, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energy kinetik rata-rata molekul –molekul yang membentuk elemen itu. Energy yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan positif relative molekul-molekulnya disebut energy dalam. Jadi, semakin cepat molekul-molekul bergerak, semakin tinggi suhu maupun energy dalam elemen zat.

Bila molekul-molekul di satu daerah memperoleh energy kinetik rata-rata yang lebih besar daripada yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul

yang memiliki energy yang lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang bersuhhu lebih rendah. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi. (Frank Kreith,dkk. 1997).

Jika media perpindahan panas konduksi berupa cairan, mekanisme perpindahan panas yang terjadi sama dengan konduksi dengan media gas, hanya kecepatan gerak molekul cairan lebih lambat daripada molekul gas. Tetapi jarak antara molekul-molekul pada cairan lebih pendek dari pada jarak antara molekul-molekul pada fase gas. Berikut persamaan dari laju perpindahan panas konduksi.

$$q_k = U_k(T - T_s)A \dots \dots \text{(Geankoplis, 1978)}$$

Dimana:

q_k = Laju perpindahan panas konduksi

A = Luas penampang

T = Temperatur udara

T_s = Temperatur pelat

$$U_k = \frac{1}{1/h_c + z_m/k_m + z_s/k_s}$$

z_m = ketebalan pelat

z_s = ketebalan bahan

k_m = konduktivitas termal pelat

k_s = konduktivitas termal bahan

h_c = koefisien perpindahan panas

2.2.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur.

Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. (Frank Kreith,dkk. 1997).

Perpindahan energy dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur,dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluidalainnya. (Frank Kreith,dkk. 1997.).

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara, yaitu :

1. Konveksi bebas/konveksi alamiah (*free convection/natural convection*)

Adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh : plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

2. Konveksi paksaan (*forced convection*)

Adalah perpindahan panas yang aliran panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.

Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

Berikut persamaan dari laju perpindahan panas konveksi.

$$q_c = h_c A(T - T_s).....(\text{Geankoplis, 1978})$$

Dimana:

q_c = Laju perpindahan panas konveksi

A = Luas penampang

h_c = Koefisien perpindahan panas

T = Temperatur udara

T_s = Temperatur pelat

2.3 Laju Pengeringan

Menurut Henderson dan Perry (1995), proses pengeringan mempunyai dua periode utama yaitu periode pengeringan dengan laju pengeringan tetap dan periode pengeringan dengan laju pengeringan menurun. Kedua periode utama ini dibatasi oleh kadar air kritis.

Henderson dan Perry (1955) menyatakan bahwa pada periode pengeringan dengan laju tetap, bahan mengandung air yang cukup banyak, dimana pada permukaan bahan berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas.

Laju pengeringan akan menurun seiring dengan penurunan kadar air selmaa pengeringan. Jumlah air terikat makin lama semakin berkurang. Pada periode laju pengeringan menurun permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Selama periode laju pengeringan menurun, energi panas yang diperoleh bahan digunakan untuk menguapkan sisa air bebas yang sedikit sekali jumlahnya.

Untuk memperikrakan waktu pengeringan selama periode laju konstan, didapatkan persamaan :

$$R_c = \frac{(hc + U_k)(T - T_s)}{A\lambda}$$

Laju pengeringan konstan terjadi pada lapisan air bebas yang terdapat pada permukaan bahan. Laju pengeringan ini terjadi sangat singkat selama proses pengeringan berlangsung, kecepatan penguapan air pada tahap ini dapat disamakan dengan kecepatan penguapan air bebas, sedangkan laju pengeringan menurun terjadi setelah periode pengeringan konstan selesai. Pada tahap ini kecepatan aliran air bebas dari dalam bahan ke permukaan lebih kecil dari kecepatan pengambilan uap air maksimum. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan ke udara sekitarnya.

Perhitungan laju pengeringan membutuhkan data hasil pengukuran dari perpindahan massa, perpindahan panas, waktu, suhu dan luas permukaan kadar air akhir, waktu, suhu, dan luas permukaan. Pada laju pengeringan periode konstan, perhitungannya bisa digunakan persamaan sebagai berikut.

$$q = q_c + q_k \quad (\text{Geankoplis, C.J, 1983})$$

$$N_A = k_y \frac{M_B}{M_A} (H_s - H) \quad (\text{Geankoplis, C.J, 1983})$$

Persamaan laju pengering untuk laju perpindahan kombinasi antara konduksi, konveksi dan radiasi:

$$Rc = \frac{q}{A \cdot \lambda_s} = \frac{q_c q_k}{A \cdot \lambda_s} \quad (\text{Geankoplis, C.J, 1983})$$

Menjadi,

$$Rc = \frac{q}{A \cdot \lambda_s} = \frac{h_c(T - T_s)A + U_k(T - T_s)}{A \cdot \lambda_s} KyMb (H_s - H)$$

(Geankoplis, C.J, 1983)

Dimana:

T = Suhu Udara °C (°F)

T_s = Suhu permukaan pelat °C (°F)

A = luas dinding (luas perpindahan panas). m² (ft²)

h_c = laju perpindahan panas konveksi, Watt (Btu/h)

h_k = laju perpindahan panas konduksi, Watt (Btu/h)

k_y = konduktivitas termal, W/m.°C (Btu/h.ft.°F)

2.4 Perpindahan Massa Pada Pengerinan

Pada partikel-partikel padat yang lembab, cairan yang dipisahkan dapat berupa :

- Cairan bebas, tak terikat pada permukaan partikel.
- Cairan yang terikat oleh gaya kapiler dan diadsorpsi di dalam pori-pori partikel (pada bahan yang higroskopis).
- Air kristal yang diikat oleh gaya valensi dalam struktur kristal bahan padat.

Berdasarkan keadaan cairan di atas maka proses pengeringan (waktu dan energi) yang diperlukan untuk mengeluarkan cairan juga berbeda-beda.

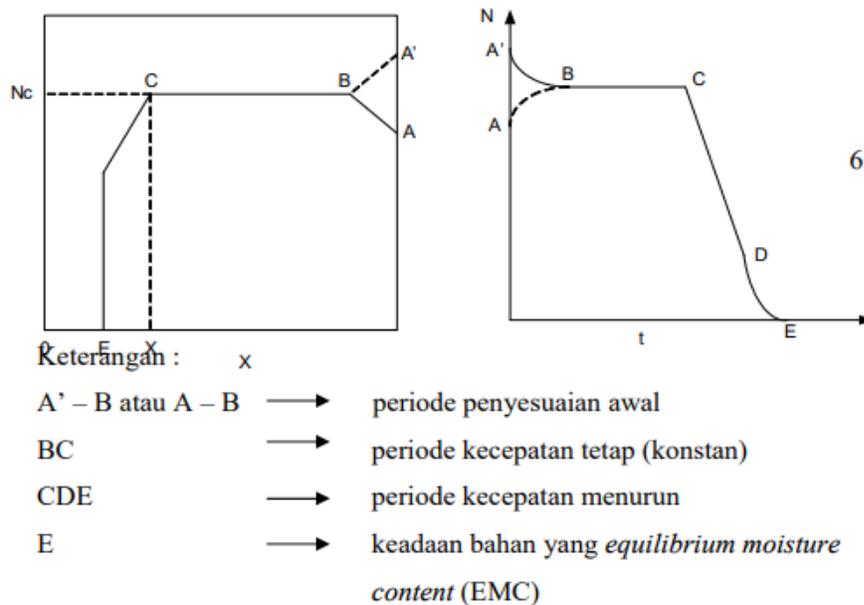
Pada umumnya proses pengeringan dibagi menjadi sedikitnya dua tahap yaitu :

1. Laju Pengeringan Yang Konstan

Pada tahap ini cairan pada permukaan partikel menguap atau mengabut dengan segera secara merata. Sebagai akibatnya terjadi penurunan kelembaban di dalam partikel, dan cairan berpindah dari bagian dalam partikel ke permukaan dengan cara difusi.

2. Laju Pengeringan Yang Menurun

Pada tahap ini dimulai ketika cairan yang berasal dari bagian dalam partikel tidak lagi cukup untuk membasahi permukaan. (Bernasconi, dkk.,1995)



Gambar 2.2 Kurva Laju Pengeringan

2.5 Efisiensi Termal

Efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya.

Berdasarkan hukum pertama termodinamika, output tidak bisa melebihi input, sehingga $0 \leq \eta_{th} \leq 1$.

Ketika ditulis dalam persentase, efisiensi termal harus berada diantara 0% dan 100%. Karena inefisiensi seperti gesekan, hilangnya panas, dan factor lainnya, efisiensi termal tidak pernah mencapai 100%.

Efisiensi termal (*thermal efficiency*) dihitung berdasarkan perbandingan antara panas yang digunakan alat pengering dengan panas yang disediakan alat pengering. Parameter ini dapat dinyatakan sebagai:

$$\eta_{thermal} = \frac{(q_{in} - q_{out})}{q_{in}} \times 100\%$$

Secara umum efisiensi termal tergantung pada temperatur awal dan akhir dari media pengering, temperatur lingkungan dan kandungan air bahan yang dikeringkan. Berdasarkan data statistik neraca energi Danilov dan RAlchev (196), alat pengering yang bekerja secara konvektif menunjukkan bahwa energi yang disediakan alat pengering, 20-60% digunakan untuk penguapan kandungan air, 5-25% untuk pemanasan bahan, 15-40% untuk panas yang termanfaatkan bersama dengan aliran udara keluar, 3-10% panas hilang dari dinding alat pengering menuju lingkungan dan 5-20% untuk panas tak termanfaatkan yang lain (Strumillo, Jones dan Zylla: 1995).

2.6 Humidifikasi

Pengeringan merupakan transfer massa air dari padatan ke udara, yang menyebabkan air bisa berpindah adalah adanya perbedaan konsentrasi di bahan (diperoleh dari analisa kadar air) dan konsentrasi air di udara (humidifikasi). Kelembaban (humidity) adalah massa uap yang dibawa oleh satu satuan massa gas

bebas uap. Menurut definisi ini, kelembaban hanya bergantung pada tekanan bagian uap di dalam campuran jika tekanan total tetap. Jadi kelembaban adalah

$$H = \frac{M_A P_A}{M_B (1 - P_A)}$$

Dimana : M_A : berat molekul komponen A

M_B : berat molekul komponen B

P_A : tekanan uap

Hubungan antara kelembaban dengan fraksi mol di dalam fase gas adalah

$$h = \frac{H/M_A}{1/M_B + H/M_A}$$

Gas jenuh (saturated gas) adalah gas dimana uap berada pada kesetimbangan dengan zat cair pada suatu gas. Tekanan bagian uap di dalam gas jenuh sama dengan tekanan uap zat cair pada suhu gas. Jika P'_A adalah kelembaban jenuh, dan P'_A tekanan uap zat cair maka;

$$H_S = \frac{M_A P'_A}{M_B (1 - P'_A)}$$

Kelembaban relative (relative humidity) adalah rasio antara tekanan bagian uap dan tekanan uap zat cair pada suhu gas. Besaran ini dinyatakan dalam persen, sehingga kelembaban 100% berarti gas jenuh, sedang kelembaban 0 % berarti gas bebas uap. Maka rumus kelembaban relative yaitu :

$$H_R = 100 \frac{P_A}{P'_A}$$

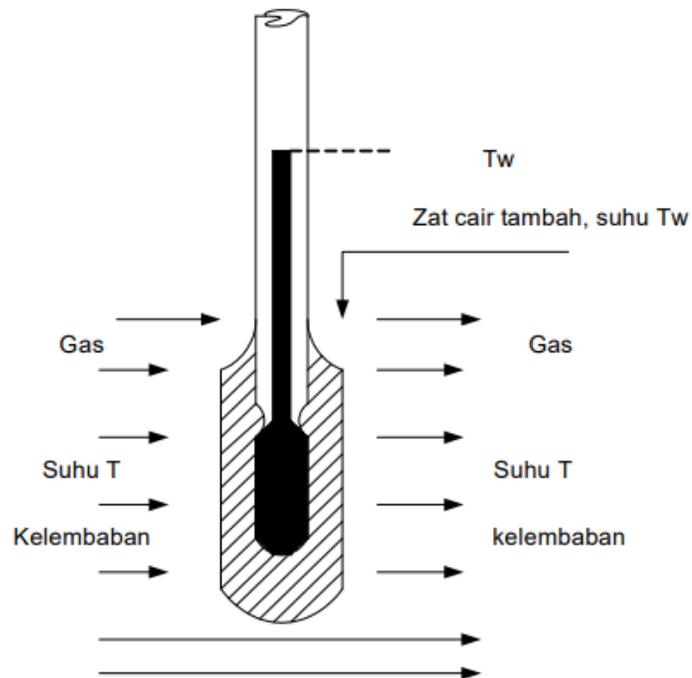
Persentase kelembaban adalah rasio kelembaban nyata (actual) terhadap kelembaban jenuh pada suhu gas.

$$H_A = 100 \frac{H}{H_S} = 100 \frac{P_A / (1 - P_A)}{P'_A / (1 - P'_A)} = H_R \frac{1 - P'_A}{1 - P_A}$$

Persentase kelembaban pada setiap kelembaban , kecuali pada 0% dan 100% selalu lebih kecil dari kelembaban relative.

a. Suhu Bola Basah, Suhu Bola Kering

Suhu bola basah adalah suhu keadaan steady dan tak keseimbangan yang dicapai bila suatu massa yang kecil daripada zat cair dicelupkan dalam keadaan adiabatik didalam suatu arus gas yang kontinyu. Massa zat cair itu sedemikian kecil dengan dikelembaban fase gas, sehingga perubahan sifat gas kecil sekali dan dapat diabaikan, sehingga pengaruh proses ini hanya terbatas pada zat cair saja. Metode pengukuran suhu bola basah terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 Prinsip Termometer Bola Basah

Selain dengan suhu bola basah itu digunakan juga termometer tanpa balut yang mengukur suhu T, yaitu suhu gas nyata, dan suhu gas ini dinamakan suhu bola kering.

b. Pengukuran Kelembaban

Kelembaban suatu arus atau massa gas didapatkan dengan mengukur titik embun atau suhu bola basah atau dengan cara absorpsi langsung.

Metode – metode pengukuran kelembaban :

1. Metode Titik Embun

Jika sebuah piring mengkilap yang dingin dimasukkan ke dalam gelas yang kelembabannya tidak diketahui dan suhu piring itu berangsur-angsur diturunkan, piring itu akan mencapai suatu suhu dimana terjadi kondensasi kabut dipermukaan mengkilap itu. Pada waktu kabut itu pertama kali terbentuk, suhu adalah suhu keseimbangan antara uap di dalam gas dengan fase zat cair. Karena itu, titik itu disebut titik embun. Bacaan diperiksa sambil menaikkan suhu piring itu dengan perlahan-lahan dan mencatat suhu dimana kabut itu menghilang. Kelembaban lalu dibaca dari grafik kelembaban pada suhu rata-rata dari suhu dimana kabut itu mulai terbentuk dan suhu dimana kabut itu menghilang.

2. Metode Psikometrik

Suatu cara yang lazim digunakan untuk mengukur kelembaban adalah dengan menentukan suhu bola basah dan suhu bola kering secara serentak. Dari kedua bacaan itu, kelembaban didapatkan dengan menentukan garis psikometrik yang memotong garis jenuh pada suhu bola basah sesuai dengan pengamatan, dan mengikuti garis itu sampai memotong ordinat pada suhu bola kering.

3. Metode Langsung

Kandungan uap didalam gas dapat ditentukan secara langsung dengan analisis dimana gas yang volumenya tertentu dilewatkan melalui suatu alat analisis yang semestinya. (Mc. Cabe, 1990)

2.7 Tanaman Jagung

Jagung (*Zea mays ssp. mays*) adalah salah satu tanaman pangan penghasil karbohidrat yang terpenting di dunia, selain gandum dan padi. Bagi penduduk

Amerika Tengah dan Selatan, bulir jagung adalah pangan pokok, sebagaimana bagi sebagian penduduk Afrika dan beberapa daerah di Indonesia. Pada masa kini, jagung juga sudah menjadi komponen penting pakan ternak. Penggunaan lainnya adalah sebagai sumber minyak pangan dan bahan dasar tepung maizena. Berbagai produk turunan hasil jagung menjadi bahan baku berbagai produk industri farmasi, kosmetika, dan kimia.

2.7.1 Jenis-Jenis Jagung

Jagung bisa dikelompokkan dalam empat fungsi, salah satunya adalah sebagai bahan pangan. Buah dari tumbuhan jagung juga bisa menjadi makanan ternak, industri olahan, dan bisa menjadi benih tanaman. Berdasarkan bijinya, jagung bisa digolongkan menjadi beberapa jenis. Untuk jenis jagung yang digunakan untuk pembuatan susu bubuk adalah jenis jagung manis.

Jagung Manis memiliki ciri-ciri endosperm berwarna bening, kulit biji tipis, kandungan pati sedikit, pada waktu masak biji berkerut. Jagung manis sangat disukai oleh masyarakat karena rasanya enak, mengandung karbohidrat, protein dan vitamin yang tinggi serta kandungan lemak yang rendah. Jagung manis mengandung kadar gula yang relatif tinggi.

Tabel 2.1 Kandungan gizi jagung manis dalam 100 g

Zat gizi	Jumlah
Energi (kal)	96,0
Protein (g)	3,5
Lemak (g)	1,0
Karbohidrat (g)	22,8
Kalsium (mg)	3,0
Fosfor (mg)	111,0
Besi (mg)	0,7
Vitamin A (SI)	400,0
Vitamin B (mg)	0,45
Vitamin C (mg)	12,0
Air (g)	72,7

Sumber : Iskandar, (2011).

2.8 Susu Jagung

Penganekaragaman produk olahan perlu dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah dan pendapatan petani. Selain jagung rebus, kue basah dan tojin, jagung dapat

diolah menjadi susu jagung, bubur susu jagung, cornyoghurt, atau corn flakes. Di Thailand jagung manis banyak diolah menjadi susu jagung (corn milk). Susu nabati seperti susu jagung dibutuhkan terutama bagi orang yang alergi terhadap susu sapi. Sebagai minuman, susu jagung diharapkan dapat menyegarkan dan menyehatkan tubuh karena tidak mengandung kolestrol (Deptan, 2010).

Susu jagung merupakan salah satu minuman probiotik (tambahan) yang dapat menjaga kondisi tubuh agar tetap sehat sehingga tidak mudah terserang penyakit. Sebagai minuman probiotik, susu jagung dapat memberikan tambahan energi yang dibutuhkan oleh tubuh karena mengandung karbohidrat.

Sebagaimana halnya susu sapi, susu jagung juga mengandung kadar air yang tinggi, sehingga mudah mendapatkan gangguan mikroorganisme yang mengakibatkan susu ini tidak dapat disimpan lama. Untuk mengatasi hal ini maka perlu diupayakan suatu teknologi yang dapat mengolah susu jagung dalam bentuk cair menjadi susu bubuk agar dapat disimpan lama.

Tabel 2.2 Komposisi standar susu jagung

No.	Komposisi (% berat)	Standar	
		Susu Cair ¹	Susu Bubuk ²
1.	Air	93,27	5,00
2.	Protein	2,75	27,8
3.	Lemak	1,91	26,5

Sumber : ¹ USDA, 1998; ² Herrington, 1985



Sumber: (Romeo, 1991)

Gambar 2.4 Contoh gambar susu bubuk jagung

2.8.1 Manfaat Susu Jagung

Beberapa manfaat dari susu jagung untuk kesehatan tubuh antara lain:

1. Sumber antioksidan

Sudah bukan rahasia umum, sumber makanan yang mengandung manfaat antioksidan sangat baik bagi kesehatan. Selain mempertahankan kekebalan tubuh, antioksidan juga dipercaya mampu melawan radikal bebas penyebab kanker. Berbeda dengan makanan lain, jagung yang dimasak ternyata bisa meningkatkan jumlah antioksidannya.

2. Menjaga kesehatan jantung

Konsumsi jagung yang cukup juga bisa menjaga kesehatan jantung. Hal tersebut disebabkan adanya kandungan anti-aterogenik yang bisa mengurangi jumlah kolesterol jahat di badan. Tak hanya itu, jagung juga mengandung omega-3 alami yang fungsinya untuk menjaga agar jantung tetap berfungsi dengan baik. Dengan manfaat tersebut, jagung juga bisa meminimalisir risiko serangan stroke!

3. Mencegah anemia

Salah satu masalah yang biasanya diderita dari penurunan energi adalah anemia atau darah rendah. Bila sudah terserang penyakit ini, tubuh membutuhkan istirahat yang lebih banyak dan cukup. Makanya, bila tubuh mendapatkan asupan jagung yang cukup, Anda telah mencegah anemia. Sebab, jagung dipercaya bisa meningkatkan pembentukan sel darah merah karena kandungan zat besinya yang banyak.

4. Meningkatkan sistem imun tubuh

Vitamin A yang dikandung jagung diketahui cukup banyak. Bila tubuh mendapatkan asupan vitamin A yang cukup, dipercaya sistem imun pun akan baik. Dengan begitu, pencegahan segala bentuk masalah kesehatan semakin maksimal. Dengan vitamin A yang cukup juga bisa membuat kulit Anda menjadi lebih sehat dan halus. Tak hanya itu, vitamin A dalam jagung juga bisa membuat penglihatan Anda menjadi lebih baik.