

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Industri kimia modern, khususnya yang memproduksi produk berbentuk butiran (*beads*), seperti deterjen, pupuk, dan bahan kimia industri lainnya, memerlukan proses pengeringan yang cepat, efisien, dan konsisten. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah proses beading, yaitu proses mengubah cairan menjadi butiran padat dengan bantuan *spray tower*. Pada proses ini, cairan umpan disemprotkan menjadi partikel-partikel halus di dalam menara, kemudian dikontakkan dengan aliran udara yang bertujuan untuk menguapkan kadar air secara cepat, sehingga terbentuk butiran dengan ukuran dan kadar kelembapan tertentu sesuai standar produk.

Di dalam *spray tower*, temperatur udara menjadi parameter utama yang menentukan kecepatan pengeringan, tingkat efisiensi energi, dan kualitas produk akhir. Temperatur yang terlalu rendah dapat menyebabkan butiran tidak kering sempurna, sehingga produk menjadi lembab, menggumpal, dan mudah rusak. Sebaliknya, temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi komponen aktif, perubahan warna, atau kerusakan sifat fisik produk. Oleh karena itu, pengendalian temperatur dalam *spray tower* sangat penting untuk menjaga kualitas dan konsistensi produksi.

Salah satu faktor yang berpengaruh besar terhadap temperatur dalam *spray tower* adalah kecepatan blower. Blower berfungsi untuk mensuplai udara ke dalam menara dengan laju aliran tertentu. Perubahan kecepatan blower akan memengaruhi laju aliran udara panas, distribusi panas di seluruh bagian tower (bawah, tengah, dan atas), serta interaksi antara udara panas dengan partikel cair yang sedang dikeringkan.

Pada kecepatan rendah, udara panas cenderung memiliki waktu tinggal (*residence time*) lebih lama di dalam tower sehingga temperatur relatif tinggi. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, udara panas bergerak lebih cepat dan dapat menyebabkan penurunan temperatur rata-rata karena waktu kontak dengan pemanas lebih singkat dan interaksi dengan sistem pendingin lebih besar.

PT. PHPO KIM sebagai salah satu perusahaan di Kawasan Industri Medan yang memproduksi bahan kimia dalam bentuk butiran (*beads*) melalui *beading plant* menghadapi tantangan dalam menjaga kestabilan temperatur *spray tower*. Dalam praktiknya, variasi kecepatan blower sering dilakukan untuk menyesuaikan kapasitas produksi, kondisi bahan baku, dan kualitas produk yang diinginkan. Namun, perubahan kecepatan blower belum sepenuhnya dianalisis secara ilmiah dalam kaitannya dengan perubahan temperatur di berbagai titik dalam tower.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang menganalisis secara detail pengaruh variasi kecepatan blower terhadap temperatur di dalam *spray tower* pada proses *beading* di PT. PHPO KIM. Penelitian ini diharapkan dapat menemukan kecepatan blower yang paling optimal untuk menghasilkan temperatur yang stabil, dan efisiensi yang tinggi. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan teknis bagi perusahaan dalam pengaturan operasi *spray tower* guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi energi.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan *Blower* terhadap temperatur udara masuk dan temperatur di berbagai titik di dalam *spray tower*?
2. Bagaimana korelasi antara kecepatan *Blower* dan peningkatan temperatur di dalam *spray tower*?
3. Apakah ada kecepatan *Blower* optimal yang menghasilkan peningkatan temperatur *Spray Tower* yang paling efisien untuk proses *beading*?

## 1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus, batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya akan berfokus pada variasi kecepatan *Blower* sebagai variabel independen (variable bebas).
2. Pengukuran temperatur akan dilakukan di beberapa titik spesifik di dalam *spray tower*.
3. Analisis tidak akan mencakup detail mengenai kualitas *beads* yang dihasilkan, namun akan terfokus pada pengaruh terhadap temperatur *spray tower*.

## 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi kecepatan *Blower* terhadap distribusi temperatur di dalam *spray tower*.
2. Mengidentifikasi korelasi antara kecepatan *Blower* dan peningkatan temperatur di *spray tower*.

3. Menentukan kecepatan *Blower* yang optimal guna mencapai temperatur *Spray Tower* yang efisien untuk proses *beading*.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan:

1. **Manfaat Teoritis:** Memberikan kontribusi pada pemahaman tentang dinamika perpindahan panas dan massa dalam *spray drying*, khususnya mengenai peran kecepatan *Blower* terhadap profil temperatur *spray tower*.
2. **Manfaat Praktis:** Memberikan informasi yang berguna bagi operator dan insinyur di industri *beading plant* untuk mengoptimalkan parameter operasi, meningkatkan efisiensi pengeringan, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Proses Beading**

Proses Beading adalah suatu metode dalam industri manufaktur, khususnya pada pengolahan bahan kimia cair atau semi-cair, untuk mengubah bahan tersebut menjadi bentuk butiran kecil (*beads*) yang seragam. Proses ini melibatkan penyemprotan bahan cair ke dalam aliran udara panas di dalam suatu ruang (biasanya *spray tower*), sehingga terjadi penguapan pelarut atau pendinginan cepat yang menyebabkan bahan tersebut mengeras menjadi butiran.

##### **2.1.1 Tujuan Proses Beading**

Tujuan utama dari proses Beading adalah:

1. Mempermudah penanganan dan pengemasan: Bentuk butiran lebih mudah ditangani dibanding bentuk cair atau bubuk halus.
2. Mengurangi kelembaban dan meningkatkan stabilitas: Dengan penguapan pelarut, produk menjadi lebih kering dan tahan lama.
3. Meningkatkan efisiensi dalam transportasi dan distribusi: Produk berbentuk beads cenderung lebih padat dan stabil.
4. Mengontrol ukuran partikel: Proses ini memungkinkan produksi butiran dengan ukuran tertentu sesuai spesifikasi produk akhir.
5. Meningkatkan sifat alir (*flowability*): Produk dalam bentuk beads tidak menggumpal dan mudah mengalir di proses selanjutnya.

### 2.1.2 Prinsip Dasar Proses Beading

Proses Beading secara umum berdasarkan pada beberapa prinsip berikut:

a. Penyemprotan (Atomisasi)

Cairan disemprotkan melalui nozzle ke dalam bentuk tetesan kecil (droplets). Semakin kecil droplet, semakin cepat proses pengeringan atau pematatan terjadi.

b. Perpindahan Panas dan Massa

Tetesan yang disemprotkan ke dalam *spray tower* akan mengalami:

1. Penguapan pelarut (misalnya air) jika menggunakan udara panas.
2. Pendinginan cepat dan pembekuan jika udara dingin digunakan dalam proses pendinginan kilat (quick cooling).

c. Pengeringan dan Pembentukan Butiran

Ketika pelarut menguap, material aktif mulai mengeras dan membentuk partikel padat berbentuk bulat (beads). Parameter penting di sini adalah:

1. Temperatur dan kelembaban udara.
2. Waktu tinggal (residence time) dalam tower.
3. Kecepatan udara (yang dipengaruhi blower).
4. Viskositas dan konsentrasi larutan awal.

d. Pengumpulan Produk

Beads yang terbentuk akan jatuh ke bagian bawah spray tower dan dikumpulkan menggunakan sistem, saringan, atau cyclone separator.

### 2.1.3 Industri yang Menggunakan Proses Beading

Proses ini banyak digunakan di berbagai sektor industri, di antaranya:

a. Industri Deterjen

Salah satu pengguna utama proses Beading. Detergen cair dikonversi menjadi beads untuk memproduksi detergen bubuk atau granular dengan daya larut yang baik.

a. Industri Oleokimia

Untuk menghasilkan sabun butiran (soap noodles) yang kemudian diproses menjadi sabun batang. Contohnya, Unilever Oleochemical Indonesia menggunakan proses ini untuk pengolahan fatty acid.

b. Industri Pupuk

Pupuk cair atau slurry diubah menjadi pupuk granular (misalnya Urea atau NPK) agar mudah diaplikasikan dan memiliki pelepasan unsur hara yang terkontrol.

c. Industri Polimer

Resin cair dibentuk menjadi butiran polimer (polymer beads) seperti polystyrene beads atau polyethylene pellets untuk bahan baku plastik.

d. Industri Farmas

Untuk membuat butiran obat (granules atau microbeads) yang mudah dikemas dan dikendalikan pelepasannya dalam tubuh.

e. Industri Makanan

Digunakan untuk produksi minuman bubuk instan, susu bubuk, atau perisa makanan dalam bentuk beads yang larut saat digunakan.

## 2.2 Spray Tower

Spray tower adalah jantung dari proses *spray drying*, sebuah metode pengeringan di mana bahan cair (larutan, suspensi, atau emulsi) diubah menjadi partikel padat atau bubuk kering. Prinsip dasarnya adalah mengontakkan tetesan kecil material cair dengan aliran udara panas, menyebabkan penguapan cepat pelarut (biasanya air) dan meninggalkan padatan dalam bentuk partikel kering.



**Gambar 2.1** Spray Tower

### 2.2.1 Fungsi Utama Spray Tower

Fungsi utama *spray tower* adalah menyediakan ruang yang terkontrol untuk tiga proses esensial:

- a. **Atomisasi Material Cair:** Mengubah material cair menjadi tetesan (*droplet*) sangat halus untuk memperluas area permukaan kontak dengan udara panas.
- b. **Kontak Efisien dengan Udara Panas:** Memastikan tetesan material bersentuhan secara merata dengan udara panas, memaksimalkan perpindahan panas dan massa.
- c. **Pengeringan dan Pembentukan Partikel:** Menguapkan pelarut dari tetesan, membentuk partikel padat, dan mendinginkannya sebelum dikumpulkan.

### 2.2.2 Komponen Utama Spray Tower

Untuk menjalankan fungsinya, *spray tower* dilengkapi dengan beberapa komponen krusial:

#### a. **Sistem Injeksi Material Cair (Atomizer)**

Ini adalah bagian yang paling vital dalam proses atomisasi. Material cair dimasukkan ke dalam *spray tower* melalui sistem ini, yang mengubahnya menjadi tetesan-tetesan halus. Ada beberapa jenis *atomizer* yang umum digunakan:

1. **Nozzle Tekanan (Pressure Nozzle):** Material cair dipompa dengan tekanan tinggi melalui lubang kecil (*orifice*). Tekanan ini menyebabkan cairan keluar sebagai semprotan halus yang pecah menjadi tetesan-tetesan kecil. Ukuran *orifice* dan tekanan pompa memengaruhi ukuran tetesan yang dihasilkan.
2. **Nozzle Dua Fluida (Two-Fluid Nozzle):** Material cair dan gas bertekanan tinggi (biasanya udara terkompresi atau uap) bertemu di dalam atau di luar *nozzle*. Energi dari gas bertekanan tinggi memecah material cair menjadi tetesan. Jenis

ini sering digunakan untuk cairan viskos atau yang membutuhkan tetesan sangat halus.

3. **Atomizer Sentrifugal/Disk Putar (Rotary Atomizer/Spinning Disk):** Material cair dialirkan ke tengah disk yang berputar dengan kecepatan sangat tinggi. Gaya sentrifugal mendorong cairan ke tepi disk, di mana ia pecah menjadi tetesan-tetesan halus dan menyebar keluar secara radial. Ini sering dipilih untuk kapasitas besar dan menghasilkan distribusi ukuran partikel yang seragam.

#### **b. Sistem Pemasukan Udara Panas (Air Inlet System)**

Udara panas adalah media pengering dalam *spray tower*. Sistem ini memastikan udara masuk ke dalam tower dengan temperatur dan pola aliran yang tepat.

1. **Pemanas Udara (Air Heater):** Biasanya berupa penukar panas (heat exchanger) atau pemanas langsung yang memanaskan udara ambien hingga temperatur yang diinginkan. Temperatur udara panas sangat penting karena memengaruhi laju penguapan dan efisiensi pengeringan.
2. **Blower/Fan:** Menghisap udara dari lingkungan, mendorongnya melewati pemanas udara, dan kemudian mengalirkannya ke dalam *spray tower*. Kecepatan blower secara langsung mengontrol laju alir udara panas yang masuk, yang berdampak signifikan pada perpindahan panas dan profil temperatur di dalam tower.
3. **Distributor Udara (Air Distributor/Inlet Duct):** Dirancang untuk mengalirkan udara panas secara merata dan dengan pola aliran tertentu (misalnya, aliran ko-current, counter-current, atau mixed flow) ke dalam *spray tower*. Desain ini penting untuk memastikan kontak optimal antara udara panas dan tetesan material.

### c. Sistem Pengeluaran Produk dan Udara (Product and Air Outlet System)

Setelah pengeringan, partikel kering dan udara lembab harus dikeluarkan dari *spray tower*.

1. Siklon (Cyclone Separator): Udara yang mengandung partikel kering (umumnya debu halus) dari *spray tower* dialirkan ke siklon. Gaya sentrifugal memisahkan partikel padat dari udara, mengumpulkannya di bagian bawah siklon.
2. Filter Kantong (Bag Filter) atau Scrubber: Untuk menangkap partikel sangat halus yang lolos dari siklon, seringkali digunakan filter kantong atau *scrubber* basah. Ini penting untuk efisiensi pengumpulan produk dan kepatuhan lingkungan.
3. Saluran Udara Keluar (Exhaust Duct): Udara lembab yang sudah terpisah dari partikel padat kemudian dikeluarkan dari sistem, seringkali setelah melewati filter atau *scrubber*.
4. Sistem Pengumpul Produk (Product Collection System): Partikel kering yang terkumpul dari bagian bawah *spray tower* (jika ada) dan dari siklon/filter kemudian dikumpulkan dalam wadah atau dialirkan untuk tahapan pemrosesan selanjutnya (misalnya, pendinginan, pengayakan, atau pengemasan).

Secara keseluruhan, koordinasi yang tepat antara sistem injeksi, pemasukan udara panas, dan pengeluaran produk/udara sangat penting untuk mencapai pengeringan yang efisien, menghasilkan produk dengan karakteristik yang diinginkan, dan menjaga stabilitas operasi *spray tower*.

### 2.3 Perpindahan Panas dan Massa dalam Spray Tower

Uraikan Perpindahan panas adalah proses transfer energi termal dari satu sistem ke sistem lain karena adanya perbedaan temperatur. Dalam *spray tower*, ada dua mode perpindahan panas utama yang berperan:

#### a. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi melalui pergerakan fluida (cair atau gas). Dalam *spray tower*, konveksi adalah mode perpindahan panas yang paling dominan.

1. **Prinsip Konveksi:** Panas ditransfer dari udara panas (fluida pengering) ke permukaan *droplet* material yang disemprotkan. Udara panas yang masuk ke dalam *tower* memiliki energi termal yang tinggi. Ketika udara ini mengalir di sekitar *droplet*, molekul-molekul udara yang lebih panas bertabrakan dengan permukaan *droplet* yang lebih dingin, mentransfer energi termalnya.
2. **Peran Aliran Udara:** Kecepatan dan turbulensi aliran udara panas sangat memengaruhi laju perpindahan panas konveksi. Aliran yang lebih cepat dan lebih turbulen akan meningkatkan koefisien perpindahan panas konvektif ( $h$ ), sehingga memungkinkan transfer panas yang lebih efisien ke *droplet*. Inilah mengapa kecepatan *blower* sangat krusial; ia memengaruhi laju alir udara, yang pada gilirannya memengaruhi konveksi.

#### b. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas melalui kontak langsung antara partikel-partikel dalam suatu zat, tanpa adanya pergerakan massa yang nyata.

1. **Prinsip Konduksi:** Dalam *spray tower*, konduksi terjadi *di dalam droplet* itu sendiri. Setelah panas ditransfer ke permukaan *droplet* melalui konveksi, panas

tersebut kemudian merambat dari permukaan *droplet* ke bagian dalam *droplet* melalui konduksi. Panas ini kemudian digunakan untuk meningkatkan temperatur bagian dalam *droplet* dan menguapkan air.

2. Peran Ukuran Droplet: Ukuran *droplet* sangat memengaruhi seberapa cepat panas dapat berkonduksi ke bagian intinya. *Droplet* yang lebih kecil memiliki jalur konduksi yang lebih pendek, sehingga pemanasan dan penguapan terjadi lebih cepat dan merata.

#### 2.4 Proses Penguapan Air dari Droplet Material

Penguapan massa air dari *droplet* material adalah proses perpindahan massa yang didorong oleh perpindahan panas. Proses ini melibatkan beberapa tahapan:

1. Pemanasan Droplet: Saat *droplet* material yang dingin masuk ke dalam lingkungan udara panas *spray tower*, panas dari udara ditransfer ke permukaan *droplet* melalui konveksi. Panas ini kemudian berkonduksi ke bagian dalam *droplet*, meningkatkan temperaturnya.
2. Evaporasi Air Permukaan: Ketika permukaan *droplet* mencapai temperatur penguapan (biasanya di bawah titik didih air murni karena efek pendinginan evaporatif dan konsentrasi solut), molekul-molekul air di permukaan mendapatkan energi yang cukup untuk melepaskan diri dari *droplet* dan berubah menjadi uap air.
3. Difusi Uap Air: Uap air yang terbentuk di permukaan *droplet* kemudian berdifusi menjauh dari *droplet* menuju aliran udara pengering yang relatif kering. Konsentrasi uap air yang lebih rendah di udara sekitar *droplet* menciptakan gradien konsentrasi yang mendorong difusi.
4. Pengeringan Lanjutan: Seiring air menguap, konsentrasi padatan di dalam *droplet* meningkat. Pada tahap tertentu, permukaan *droplet* dapat membentuk *crust* (lapisan keras). Laju penguapan kemudian mungkin dibatasi oleh difusi air dari inti *droplet* melalui lapisan padat ini ke permukaan. Proses ini berlanjut

hingga kadar air dalam *droplet* mencapai tingkat yang diinginkan, membentuk partikel padat kering.

## 2.5 Pentingnya Temperatur dalam Proses

Temperatur udara panas adalah parameter operasi dan paling vital dalam *spray drying* karena secara langsung memengaruhi laju perpindahan panas dan penguapan.

- a. Peningkatan Laju Perpindahan Panas: Semakin tinggi perbedaan temperatur antara udara panas dan *droplet* (yaitu, semakin tinggi temperatur udara panas), semakin besar laju perpindahan panas konvektif ke *droplet*. Ini mempercepat pemanasan *droplet* dan laju penguapan air.
- b. Penguapan yang Efisien: Temperatur yang optimal memastikan bahwa air menguap dengan cepat dan efisien tanpa merusak material atau menyebabkan produk lengket (*sticking*) pada dinding *tower*.
- c. Kontrol Kualitas Produk: Temperatur pengeringan yang tepat sangat penting untuk mengontrol kadar air akhir produk, ukuran partikel, densitas, porositas, dan sifat-sifat fisik lainnya. Temperatur yang terlalu rendah bisa menghasilkan produk yang belum kering sempurna, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi bisa merusak material sensitif panas, menyebabkan degradasi, atau bahkan membakar produk.
- d. Efisiensi Energi: Temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi energi karena lebih banyak air yang dapat diuapkan per satuan volume udara panas. Namun, ada batasnya, karena temperatur yang terlalu tinggi juga bisa boros energi atau merusak produk.

Dengan demikian, mengontrol dan menganalisis variasi kecepatan *blower* menjadi sangat penting karena secara langsung memengaruhi laju alir udara panas, yang pada gilirannya akan memengaruhi perpindahan panas konvektif dan akhirnya temperatur di dalam *spray tower*. Pemahaman yang mendalam tentang interaksi ini memungkinkan

optimasi proses untuk mencapai kualitas produk yang diinginkan dan efisiensi operasional

## 2.6 Blower dan Perannya dalam Spray Drying

Blower adalah jantung dari sirkulasi udara dalam proses *spray drying*. Fungsinya jauh lebih dari sekadar "mengalirkan udara panas"; ia adalah kunci untuk mengontrol lingkungan pengeringan di dalam *spray tower*. Berikut adalah fungsi spesifiknya:

- a. Penyedia Media Pengering Utama: Blower bertugas menarik udara ambien, atau terkadang udara yang sudah dipanaskan sebagian atau didaur ulang, dan kemudian mendorongnya melalui pemanas udara (*air heater*). Udara panas inilah yang menjadi media utama untuk menguapkan kelembapan dari *droplet* material. Tanpa aliran udara panas yang konsisten dan terkontrol, proses pengeringan tidak akan terjadi secara efisien.
- b. Pengatur Laju Perpindahan Panas dan Massa: Kecepatan *blower* secara langsung mengontrol laju alir volumetrik udara yang masuk ke *spray tower*. Laju alir udara ini berbanding lurus dengan kecepatan relatif antara udara dan *droplet*. Peningkatan kecepatan relatif ini akan:
  1. Meningkatkan koefisien perpindahan panas konvektif ( $h$ ): Lebih banyak udara panas yang bersentuhan dengan permukaan *droplet* per satuan waktu, mempercepat transfer energi termal.
  2. Meningkatkan laju difusi uap air: Udara yang bergerak lebih cepat membantu menyingkirkan uap air yang terbentuk di permukaan *droplet*, menjaga gradien konsentrasi uap air tetap tinggi, sehingga mendorong penguapan yang lebih cepat.
- c. Pengontrol Profil Temperatur dan Kelembapan di Spray Tower: Laju alir udara yang diatur oleh *blower* memengaruhi distribusi temperatur dan kelembapan di seluruh volume *spray tower*.

1. Laju alir tinggi: Membawa lebih banyak energi panas, yang cenderung meningkatkan atau menjaga temperatur di seluruh *tower* tetap tinggi, dan membantu menyingkirkan uap air lebih cepat, menjaga kelembapan relatif tetap rendah.
  2. Laju alir rendah: Mengurangi pasokan energi panas dan kemampuan untuk menyingkirkan uap air, yang bisa menyebabkan penurunan temperatur di dalam *tower* atau peningkatan kelembapan, berisiko menghasilkan produk yang lengket atau tidak kering sempurna.
- d. Pengatur Waktu Tinggal (Residence Time): Laju alir udara memengaruhi kecepatan udara di dalam *tower*. Ini secara tidak langsung memengaruhi waktu tinggal *droplet* dan partikel di dalam *tower*. Waktu tinggal yang cukup sangat penting agar *droplet* memiliki kesempatan untuk mengering sepenuhnya sebelum keluar dari *tower*.
  - e. Mempertahankan Tekanan Operasi: Blower juga membantu menjaga tekanan internal yang diinginkan di dalam *spray tower* (bisa positif atau sedikit negatif, tergantung desain). Ini penting untuk mencegah kebocoran udara atau masuknya udara yang tidak diinginkan, serta memastikan aliran udara yang stabil untuk proses pengeringan yang efisien.

### 2.7.1 Jenis-Jenis Blower

Dalam industri *spray drying*, jenis blower sentrifugal (*centrifugal blower*) adalah yang paling dominan dan umum digunakan. Meskipun *axial blower* ada, penggunaannya lebih spesifik dan jarang menjadi pilihan utama untuk udara panas utama. Blower adalah mesin yang digunakan untuk memindahkan atau mengalirkan udara atau gas dari satu tempat ke tempat lain dengan kecepatan dan/atau tekanan tertentu. Blower bekerja dengan prinsip menghasilkan perbedaan tekanan yang menyebabkan aliran udara. Ada berbagai jenis blower yang dirancang untuk aplikasi yang berbeda, mulai dari ventilasi sederhana hingga proses industri yang kompleks.

## A. Centrifugal Blower (Blower Sentrifugal)

### 1. Prinsip Kerja :

Blower sentrifugal bekerja dengan prinsip gaya sentrifugal. Udara masuk secara aksial (sejajar sumbu) ke pusat *impeller* (kipas berputar yang memiliki bilah-bilah melengkung). Saat *impeller* berputar, bilah-bilah tersebut mendorong udara ke luar secara radial (menjauhi pusat) menuju *casing blower*. Gaya sentrifugal inilah yang meningkatkan kecepatan dan tekanan udara. Udara kemudian diarahkan keluar melalui saluran *discharge* yang tegak lurus dengan arah masuk.

### 2. Karakteristik & Keunggulan:

- a. Tekanan Tinggi: Mampu menghasilkan tekanan statis yang signifikan, yang sangat penting untuk mendorong udara melalui *ducting* yang panjang, *air heater*, dan hambatan lain dalam sistem *spray drying*.
- b. Volume Udara Sedang hingga Besar: Efisien untuk mengalirkan volume udara yang bervariasi.
- c. Efisiensi Tinggi: Dirancang untuk operasi kontinu dengan efisiensi energi yang baik pada titik desainnya.
- d. Kokoh dan Tahan Lama: Konstruksinya yang kuat membuatnya cocok untuk lingkungan industri dan mampu menangani udara panas.
- e. Jenis Impeller: Ada berbagai jenis *impeller* sentrifugal (misalnya, *forward-curved*, *backward-curved*, *radial*) yang dipilih berdasarkan kebutuhan spesifik tekanan, volume, dan efisiensi.

### 3. Aplikasi dalam Spray Drying:

- a. Blower Udara Inlet: Mendorong udara ambien melalui *air filter* dan *air heater* ke dalam *spray tower*.

- b. Exhaust Fan: Diposisikan setelah siklon atau *bag filter* untuk menarik udara lembab dari sistem, menciptakan *draft* (tarikan) yang diperlukan, dan memastikan udara bersih keluar ke atmosfer.



**Gambar 2.2** Blower Sentrifugal

## **B. Axial Blower (Blower Aksial)**

### **1. Prinsip Kerja:**

Berbeda dengan sentrifugal, *axial blower* menggerakkan udara sejajar dengan sumbu putaran kipas. Bilah-bilah kipas didesain seperti baling-baling pesawat, menarik udara dari satu sisi dan mendorongnya langsung ke sisi lain.

## 2. Karakteristik & Keunggulan:

- a. Volume Udara Sangat Besar: Sangat efektif untuk memindahkan volume udara yang sangat besar.
- b. Tekanan Rendah: Namun, kemampuannya untuk membangun tekanan statis sangat terbatas.
- c. Kompak: Ukurannya bisa lebih ringkas untuk volume udara tertentu dibandingkan *blower* sentrifugal.

## 3. Aplikasi dalam Spray Drying (Terbatas):

- a. Penggunaan *axial blower* dalam *spray drying* untuk udara panas utama sangat jarang karena keterbatasannya dalam mengatasi *pressure drop* yang signifikan dari *heater* dan *ducting*. Lebih mungkin ditemukan dalam aplikasi seperti ventilasi ruangan, pendinginan produk setelah pengeringan, atau sebagai *pre-fan* di mana tekanan bukanlah faktor utama.



**Gambar 2.3** Blower Aksial

### 2.7.2 Komponen Utama Blower dan Fungsinya

Meskipun jenis blower bervariasi, beberapa komponen inti umumnya ditemukan pada sebagian besar blower dan memiliki fungsi krusial:

#### a. Impeller (Roda Kipas/Rotor)

Impeller adalah bagian berputar yang dilengkapi dengan bilah-bilah (blades) atau lobus. Fungsinya adalah untuk menangkap udara atau gas dan mentransfer energi kinetik ke dalamnya, sehingga menyebabkan udara bergerak. Pada blower sentrifugal, impeller mendorong udara keluar secara radial, sementara pada blower aksial, ia mendorong udara sejajar dengan poros. Pada positive displacement blower, rotor/lobus menjebak dan memindahkan volume gas.



**Gambar 2.4** Impeller Blower

#### b. Casing (Rumah Blower/Housing)

Casing berfungsi untuk mengarahkan aliran udara yang dihasilkan oleh impeller menuju saluran keluar (outlet). Selain itu, casing juga melindungi komponen internal blower dari lingkungan eksternal dan membantu meredam kebisingan. Pada blower

sentrifugal, casing seringkali berbentuk spiral (volute) untuk mengkonversi kecepatan udara menjadi tekanan.



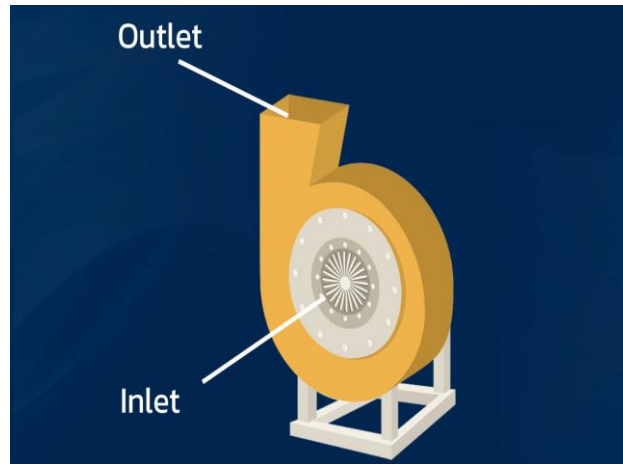
**Gambar 2.5** Casing Blower

**c. Inlet (Saluran Masuk)**

Inlet blower berfungsi sebagai pintu masuk udara atau gas ke dalam blower. Udara ditarik melalui inlet sebelum mencapai impeller. Desain inlet yang tepat penting untuk memastikan aliran udara yang lancar dan meminimalkan turbulensi.

**d. Outlet (Saluran Keluar)**

Outlet blower berfungsi sebagai pintu keluar udara atau gas yang sudah dipompa oleh blower. Udara bertekanan tinggi akan keluar melalui outlet ini menuju sistem atau area yang dituju.



**Gambar 2.6** Inlet dan outlet Blower

**e. Motor Penggerak (Motor/Engine)**

Motor penggerak berfungsi sebagai sumber tenaga utama yang menggerakkan impeller. Kebanyakan blower industri menggunakan motor listrik, tetapi beberapa mungkin menggunakan mesin pembakaran internal, terutama untuk aplikasi portabel atau di lokasi tanpa akses listrik. Motor mengkonversi energi listrik atau bahan bakar menjadi energi mekanik untuk memutar poros impeller.



**Gambar 2.7** Motor penggerak

#### f. Poros (Shaft)

Poros (*shaft*) berfungsi sebagai batang yang menghubungkan impeller ke motor penggerak. Poros mentransfer putaran dari motor ke impeller, sehingga impeller dapat berputar.



**Gambar 2.8** Poros (*shaft*) Blower

#### g. Bantalan (Bearings)

Bantalan (*bearings*) adalah Komponen yang mendukung poros berputar dan mengurangi gesekan antara bagian yang bergerak (poros) dengan bagian yang diam (casing atau rangka). Bantalan memastikan putaran poros berjalan mulus, stabil, dan meminimalkan keausan serta panas yang dihasilkan.



**Gambar 2.9** Bantalan (*Bearing*)

#### **h. Sistem Transmisi (Drive System)**

Jika motor tidak terhubung langsung ke poros impeller (direct drive), maka diperlukan sistem transmisi. Ini bisa berupa sabuk dan puli (belt drive) atau gearbox. Fungsinya adalah untuk mengatur kecepatan putaran impeller agar sesuai dengan kecepatan output motor, atau untuk menyesuaikan torsi yang diperlukan.



**Gambar 2.10** Sistem transmisi Blower

**i. Filter Udara (Air Filter)**

Filter udara adalah komponen opsional namun penting, terutama di lingkungan berdebu. Filter udara dipasang di saluran masuk untuk menyaring partikel-partikel kotoran, debu, atau kontaminan dari udara sebelum masuk ke dalam blower. Ini melindungi impeller dan komponen internal lainnya dari kerusakan abrasif dan menjaga kualitas udara yang dikeluarkan.



**Gambar 2.11** Filter udara Blower

**j. Perangkat Kontrol (Control Devices)**

Perangkat kontrol meliputi sakelar ON/OFF, pengontrol kecepatan (variable frequency drive/VFD), sensor tekanan, sensor suhu, dan sistem otomatisasi. Fungsi perangkat ini adalah untuk memonitor, mengatur, dan mengoptimalkan kinerja blower sesuai dengan kebutuhan aplikasi, serta untuk tujuan keamanan.



**Gambar 2.12** Perangkat kontrol

### **2.7.3 Kecepatan Blower Mempengaruhi Laju Alir Udara**

Hubungan antara kecepatan *blower* (biasanya diukur dalam Rotasi Per Menit - RPM) dan laju alir udara (*volume flow rate*, misalnya m<sup>3</sup>/jam atau CFM) dijelaskan secara matematis oleh Hukum Kipas (Fan Laws).

Hukum Kipas pertama menyatakan:  $Q_1 Q_2 = N_1 N_2$

Di mana:

$Q_1$  = Laju alir udara awal

$Q_2$  = Laju alir udara setelah perubahan kecepatan

$N_1$  = Kecepatan *blower* awal (RPM)

$N_2$  = Kecepatan *blower* setelah perubahan

Ini berarti laju alir udara berbanding lurus secara langsung dengan kecepatan putar *blower*. Jika Anda menggandakan kecepatan putar *blower*, volume udara yang dialirkan per satuan waktu juga akan berlipat ganda, asalkan sistem perpipaan atau saluran udaranya (resistansinya) tetap konstan.

#### **2.7.4 Implikasi Penting dalam Spray Drying:**

- a. Kontrol Laju Pengeringan: Dengan mengatur kecepatan *blower* (seringkali menggunakan *Variable Frequency Drive - VFD*), operator dapat dengan mudah mengontrol berapa banyak udara panas yang dialirkan ke *tower*. Semakin tinggi laju alir udara, semakin cepat proses pengeringan yang bisa dicapai (hingga batas tertentu).
- b. Pengaruh pada Energi: Penting untuk dicatat bahwa meskipun laju alir berbanding lurus, daya yang dibutuhkan oleh *blower* berbanding kubik dengan kecepatannya. Jadi, sedikit peningkatan kecepatan *blower* dapat secara signifikan meningkatkan konsumsi energi. ( $P_2/P_1=(N_2/N_1)^3$ ). Ini adalah pertimbangan penting dalam optimasi energi.
- c. Keseimbangan Sistem: Perubahan kecepatan *blower* tidak hanya memengaruhi laju alir udara, tetapi juga tekanan sistem. Operator harus menyeimbangkan semua parameter ini untuk menjaga operasi yang stabil dan efisien.

Dengan kemampuan untuk mengendalikan laju alir udara secara presisi, *blower* menjadi instrumen vital dalam mencapai kondisi pengeringan yang optimal, yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi proses dan kualitas produk akhir.

#### **2.7.5 Hubungan Kecepatan Blower dan Perpindahan Panas**

Peningkatan laju alir udara dalam *spray tower* (yang merupakan konsekuensi langsung dari peningkatan kecepatan *blower*) adalah faktor krusial yang secara

signifikan memengaruhi perpindahan panas konveksi dan pada akhirnya temperatur di dalam *spray tower*.

Peningkatan Laju Alir Udara dan Efeknya pada Koefisien Perpindahan Panas Konveksi. Perpindahan panas konveksi adalah proses transfer energi termal antara permukaan padat (dalam kasus ini, permukaan droplet material cair) dan fluida yang bergerak di sekitarnya (udara panas). Laju perpindahan panas konvektif ( $Q_c$ ) dihitung menggunakan persamaan Newton tentang pendinginan:

$$Q_c = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Di mana:

$Q_c$  = Laju perpindahan panas konvektif (Watt)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/(m<sup>2</sup>·K))

$A$  = Luas permukaan kontak (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = Perbedaan temperatur antara fluida panas dan permukaan (K atau °C)

Dari persamaan ini, terlihat jelas bahwa semakin besar nilai  $h$ , semakin tinggi laju perpindahan panas untuk perbedaan temperatur dan luas permukaan yang sama.

1. Ketika kecepatan *blower* meningkat, laju alir Peningkatan Kecepatan Relatif: volumetrik udara panas yang masuk ke *spray tower* juga meningkat. Ini berarti udara bergerak dengan kecepatan yang lebih tinggi relatif terhadap *droplet* material yang disemprotkan. Peningkatan kecepatan relatif ini sangat penting karena:
  - a. Penipisan Lapisan Batas (*Boundary Layer*): Di sekitar setiap *droplet*, ada lapisan tipis udara yang bergerak lebih lambat karena efek viskositas dan gesekan permukaan. Lapisan ini, disebut *boundary layer*, bertindak sebagai penghalang untuk perpindahan panas. Udara dalam

*boundary layer* ini menjadi jenuh dengan uap air dan mendingin karena kontak dengan *droplet*. Peningkatan kecepatan aliran udara "menyapu" lapisan batas ini, membuatnya lebih tipis.

- b. Peningkatan Gradien Temperatur: Dengan menipisnya *boundary layer*, gradien temperatur (perubahan temperatur per satuan jarak) dari *bulk* udara panas ke permukaan *droplet* menjadi lebih curam. Gradien yang lebih curam berarti perpindahan panas yang lebih cepat.
2. Peningkatan Turbulensi (jika ada): Laju alir udara yang lebih tinggi cenderung menciptakan aliran yang lebih turbulen (tidak laminar). Turbulensi meningkatkan pencampuran udara panas di sekitar *droplet*, membawa lebih banyak "paket" udara panas yang segar (belum dingin/jenuh uap air) untuk bersentuhan dengan permukaan *droplet*. Pencampuran yang intens ini sangat efektif dalam mendispersikan panas dan membantu menjaga gradien konsentrasi uap air.

Secara ringkas, peningkatan laju alir udara (akibat kecepatan **blower** yang lebih tinggi) secara efektif meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) karena:

- a. Mengurangi ketebalan lapisan batas termal di sekitar *droplet*.
- b. Meningkatkan turbulensi dan pencampuran fluida.

Potensi peningkatan temperatur di dalam *spray tower* ialah . Dengan meningkatnya koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ), panas dari udara akan ditransfer ke *droplet* dengan laju yang lebih tinggi. Hal ini memengaruhi temperatur di dalam *spray tower*

1. Pasokan Energi Panas yang Lebih Besar: Peningkatan laju alir udara berarti lebih banyak massa udara panas yang masuk ke *spray tower* per satuan waktu. Meskipun udara ini mengalami pendinginan evaporatif saat menguapkan air dari *droplet*, pasokan energi panas total ke dalam *tower* menjadi lebih besar.

2. Pemanasan Droplet Lebih Cepat: Karena perpindahan panas ke *droplet* lebih efisien, *droplet* akan mencapai temperatur penguapan (temperatur *wet-bulb*) lebih cepat. Hal ini mempercepat proses penguapan air.
3. Keseimbangan Energi dalam Tower: Temperatur di dalam *spray tower* adalah hasil dari keseimbangan energi antara panas yang masuk (dari udara panas), panas yang diserap untuk penguapan air, dan panas yang hilang ke lingkungan/dinding *tower*.
  - a. Ketika  $h$  meningkat, efisiensi transfer panas ke *droplet* meningkat. Ini berarti bahwa, untuk jumlah *droplet* yang sama dan laju penguapan yang sama, energi panas yang dibutuhkan dari udara dapat ditransfer lebih cepat dan efektif.
  - b. Namun, jika laju penguapan juga meningkat pesat (karena  $h$  lebih tinggi), efek pendinginan evaporatif juga bisa meningkat.
  - c. Dalam banyak kasus, peningkatan laju alir udara (dan  $h$ ) akan membawa surplus energi termal ke *tower*. Meskipun ada pendinginan karena penguapan, pasokan panas yang lebih tinggi ini cenderung meningkatkan temperatur rata-rata di dalam *spray tower* atau setidaknya menjaga temperatur tetap tinggi lebih jauh ke bawah *tower* (mendekati *outlet*). Ini berarti udara memiliki lebih banyak "kapasitas pengeringan" yang tersisa sebelum keluar.
4. Temperatur Outlet yang Lebih Tinggi: Seringkali, dampak paling terlihat adalah peningkatan temperatur udara *outlet*. Udara yang keluar dari *spray tower* akan membawa sisa panas yang tidak digunakan untuk pengeringan atau hilang ke lingkungan. Jika proses pengeringan menjadi lebih efisien atau ada pasokan panas berlebih, temperatur *outlet* akan cenderung naik.

Peningkatan kecepatan *blower* mengarah pada peningkatan laju alir udara. Laju alir udara yang lebih tinggi meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ) dengan menipiskan *boundary layer* dan meningkatkan turbulensi. Efisiensi transfer

panas yang lebih baik ini, dikombinasikan dengan pasokan massa udara panas yang lebih besar, menyebabkan potensi peningkatan temperatur di dalam *spray tower*, terutama di bagian tengah dan *outlet*, karena adanya surplus energi termal yang tidak sepenuhnya terpakai untuk penguapan atau hilang ke lingkungan. Ini adalah alasan fundamental mengapa kontrol kecepatan *blower* sangat penting untuk mengatur dan mengoptimalkan temperatur di dalam *spray tower* pada proses *spray drying*.

Temperatur di dalam *spray tower* bukan hanya variabel proses, tetapi juga penentu utama kualitas produk akhir yang dihasilkan dari proses *spray drying*. Temperatur yang tidak tepat bisa merusak produk, mengurangi efisiensi, atau menghasilkan bubuk dengan karakteristik yang tidak diinginkan.

#### **1. Kadar Air Akhir (Moisture Content)**

Dampak Temperatur: Ini adalah parameter kualitas yang paling langsung dipengaruhi oleh temperatur.

- a. Temperatur Rendah: Jika temperatur udara di dalam *spray tower* terlalu rendah, atau waktu tinggal tidak cukup pada temperatur yang ada, air dalam *droplet* tidak akan menguap sepenuhnya. Hasilnya adalah bubuk dengan kadar air tinggi yang cenderung lengket, mudah menggumpal, atau memiliki stabilitas penyimpanan yang buruk.
- b. Temperatur Optimal: Temperatur yang tepat memastikan penguapan air yang efisien, menghasilkan bubuk dengan kadar air yang diinginkan, yang stabil, bebas mengalir (*free-flowing*), dan memiliki umur simpan yang panjang.

## 2. Ukuran Partikel dan Distribusi Ukuran Partikel

Dampak Temperatur: Meskipun ukuran *droplet* awal (ditentukan oleh *atomizer*) adalah faktor utama, temperatur pengeringan juga berperan.

- a. Pengeringan Cepat (Temperatur Tinggi): Penguapan air yang sangat cepat pada temperatur tinggi bisa menyebabkan pembentukan kerak (*crust*) yang cepat di permukaan *droplet*. Ini bisa "menjebak" air di bagian dalam *droplet* (membentuk partikel berongga) atau menyebabkan *droplet* pecah karena tekanan uap internal, yang pada gilirannya bisa memengaruhi ukuran partikel akhir.
- b. Pengeringan Lambat (Temperatur Rendah): Pengeringan yang terlalu lambat bisa menghasilkan partikel yang lebih padat tetapi berisiko lengket.

## 3. Morfologi Partikel (Bentuk dan Struktur)

Dampak Temperatur: Temperatur memengaruhi bagaimana padatan mengendap saat air menguap.

- a. Temperatur Tinggi: Cenderung menghasilkan partikel dengan struktur berongga (*hollow*) atau berbentuk bola dengan permukaan yang halus karena penguapan cepat membentuk selubung keras di luar.
- b. Temperatur Rendah/Tidak Optimal: Dapat menyebabkan partikel menjadi tidak beraturan, padat, atau bahkan berkerut, tergantung pada sifat material.

## 4. Densitas Bulk (Bulk Density)

Dampak Temperatur: Densitas *bulk* (massa per unit volume bubuk yang tidak dikompresi) sangat penting untuk pengemasan dan transportasi.

- a. Temperatur Tinggi (partikel berongga): Jika temperatur menyebabkan pembentukan partikel berongga, maka densitas *bulk* akan lebih rendah. Ini diinginkan untuk beberapa produk (misalnya deterjen, makanan instan) karena memberikan volume yang lebih besar dengan berat yang sama.
- b. Temperatur Rendah (partikel padat): Cenderung menghasilkan partikel yang lebih padat dan karenanya densitas *bulk* yang lebih tinggi.

## 5. Sifat Kelarutan/Dispersibilitas

Dampak Temperatur: Untuk produk makanan atau farmasi, kemampuan bubuk untuk larut atau terdispersi kembali dalam cairan sangat penting.

- a. Temperatur Terlalu Tinggi: Bisa menyebabkan denaturasi protein, karamelisasi gula, atau perubahan kimia lainnya yang mengurangi kelarutan atau memengaruhi rasa/fungsi.
- b. Temperatur Optimal: Mempertahankan integritas material sehingga produk mudah larut atau terdispersi saat direkonstitusi.

## 6. Sticking (Kelengketan) pada Dinding Tower

Dampak **Temperatur**: Temperatur di dinding *spray tower* juga kritis.

- a. Temperatur Permukaan Dinding Rendah/Kelembaban Tinggi: Jika temperatur udara dekat dinding *tower* terlalu rendah, atau kelembaban udara terlalu tinggi karena penguapan yang tidak efisien, partikel basah bisa menempel pada dinding *tower* (sticking). Ini mengurangi *yield* produk, memerlukan pembersihan yang sering, dan dapat mengganggu aliran proses.

- b. Profil Temperatur Terkendali: Mengatur temperatur *blower* dan laju alir udara dengan benar membantu mempertahankan profil temperatur yang sesuai di seluruh *tower*, meminimalkan *sticking*.

## 7. Degradasi Termal dan Retensi Komponen Volatil

Dampak Temperatur: Untuk material yang sensitif terhadap panas (misalnya vitamin, enzim, flavor), temperatur adalah variabel paling sensitif.

- a. Temperatur Terlalu Tinggi: Dapat menyebabkan degradasi termal pada komponen sensitif panas, mengakibatkan hilangnya nutrisi, aroma, atau aktivitas biologis.
- b. Retensi Flavor/Aroma: Paradoxically, meskipun temperatur tinggi dapat menyebabkan degradasi, kecepatan pengeringan yang sangat cepat pada temperatur masuk yang tinggi (tetapi temperatur *outlet* yang terkontrol) terkadang dapat membantu memerangkap komponen volatil di dalam partikel sebelum sempat menguap. Ini dikenal sebagai fenomena *case hardening*.

Kontrol temperatur di dalam *spray tower*, yang sangat dipengaruhi oleh kecepatan *blower*, adalah seni sekaligus sains. Tujuannya adalah menemukan "sweet spot" di mana energi panas cukup untuk mengeringkan material secara efisien, tetapi tidak terlalu tinggi sehingga merusak produk atau menyebabkan masalah operasional seperti *sticking*. Pemantauan dan penyesuaian temperatur secara cermat memastikan bahwa produk akhir memiliki semua karakteristik kualitas yang diinginkan.