

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Briket**

Briket merupakan sumber energi yang dapat di-refresh saat ini, berbagai jenis bahan baku briket tersedia, termasuk kulit kelapa, batu bara, serbuk kayu, sisa teh, dan lainnya, proses pembuatan briket melibatkan berbagai tahap untuk mendapatkan produk yang optimal, namun sering kali kualitasnya menurun akibat peralatan produksi yang tidak memadai.

Ketidaktepurnaan dalam proses pencampuran dapat menyebabkan briket yang dihasilkan menjadi kurang padat dan terkadang hancur ketika dibakar, lantaran proporsi campuran ialah satu diantara aspek terpenting dalam menentukan mutu briket arang. Sehingga, dibutuhkan alat pencampur yang mampu meningkatkan hasil campuran untuk menjaga mutu briket arang tersebut (Purwanto et al., 2019)

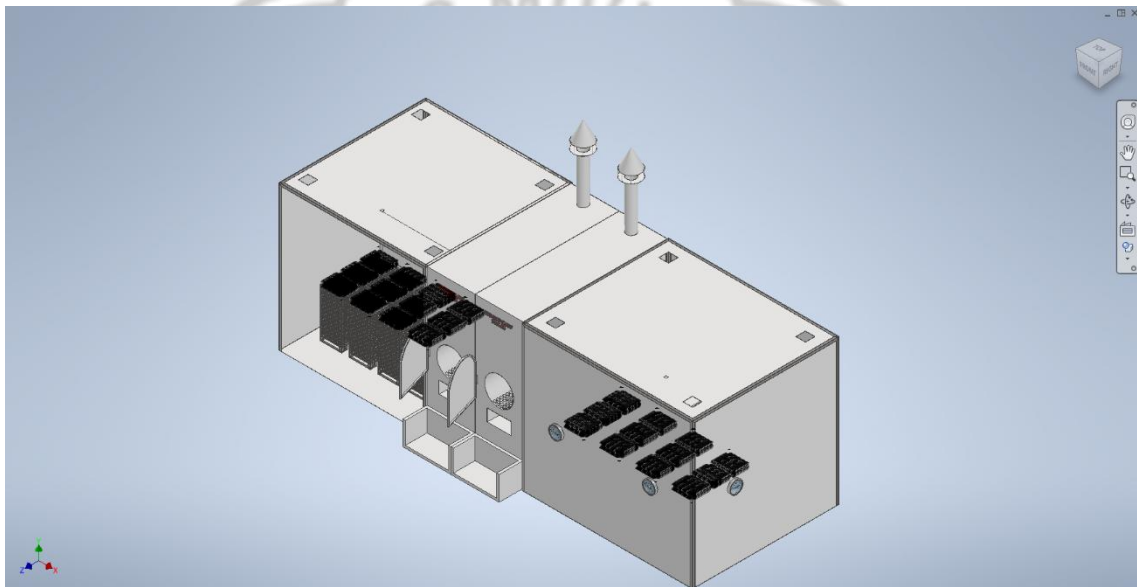
Untuk menghasilkan briket yang berkualitas, diperlukan penentuan formulasi bahan baku yang optimal. Satu diantara bahan campuran yang dipakai ialah plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*), yaitu jenis plastik yang banyak dipakai pada keseharian kehidupan dan sering menjadi limbah, seperti kantong plastik dan plastik pembungkus. LDPE memiliki potensi sebagai bahan briket karena nilai kalor yang tinggi, yaitu sekitar 11.758 kal/g. Tetapi, tingginya kandungan zat terbang sebesar 98,53% menyebabkan LDPE cenderung cepat habis saat dibakar. Oleh karena itu, diperlukan pencampuran dengan bahan biomassa lain yang telah dikenal memiliki kualitas baik sebagai bahan briket, seperti tempurung kelapa dan cangkang sawit. Bersumber hal tersebut, studi berikut dijalankan guna mengevaluasi ukuran dan komposisi partikel briket campuran LDPE dengan biomassa TKKS dan CKS yang paling optimal berdasarkan nilai kalor dan laju pembakarannya (SURYANINGSIH & PAHLEVA, 2021).

#### **2.2 Oven**

Oven merupakan salah satu metode pengeringan adiabatik yang memungkinkan pengaturan suhu sesuai kebutuhan, sehingga proses penguapan air dapat

berlangsung lebih efektif. Pengeringan menggunakan oven memiliki keunggulan lantaran aliran udara dan suhu bisa dikontrol, sehingga waktu pengeringannya bisa ditetapkan dengan lebih tepat dan kebersihan produk tetap terjaga (Peternakan et al., 2015).

Media pengering (oven) ini perlu dirancang sedemikian rupa untuk mempertahankan suhu panas di dalam oven dan memastikan kinerja panas di ruang pengering tetap konsisten. Dalam perancangan ruang pada media pengering (oven) tersebut, diperlukan bentuk dan ukuran yang akurat, sehingga diperlukan perencanaan dan penghitungan yang tepat supaya bisa mencapai hasil yang maksimal sesuai dengan desain yang telah ditentukan serta dapat menyerap dan mempertahankan suhu di dalam ruang pengering agar tetap stabil. (Hartono & Sutjahjo, 2018).



Gambar 2. 1 Oven Briket PT. X

### 2.2.1 Pengertian *boiler*

*Boiler* adalah elemen utama untuk mengubah air menjadi uap yang berfungsi sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Sistem pemanas *boiler* mengubah air menjadi uap melalui serangkaian pipa yang dipanaskan, termasuk pipa yang tertanam. Peran pipa *embeded* mirip dengan pipa *water wall*, yaitu berfungsi sebagai media pemanas yang mengubah air baku menjadi uap jenuh. (Khadafi et al., 2024).

Satu diantara bagian penting dari boiler ialah tungku pembakaran. Fungsi tungku pembakaran ialah sebagai lokasi di mana respon besar terjadi, menjadi sumber panas bagi boiler guna menjalankan tugasnya.

### 2.2.2 Bagian-bagian dari *boiler*

#### 1. Tungku pembakaran (*Furnace*)

Tungku pembakaran ialah bagian penting dari pemanas air ialah boiler yang berfungsi sebagai tempat di mana respon pembakaran berlangsung, menghasilkan panas yang diperlukan guna merubah air menjadi uap pada *boiler*. Ruang bakar merupakan sumber panas yang dimanfaatkan untuk pembakaran karena sebagai tempat pertama terjadinya sumber panas dan perpindahan panas pada boiler. Gambar 2.2 merupakan ruang bakar *boiler*.



Gambar 2. 2 *Tungku Pembakaran.*

## 2. Bejana uap

Bejana uap merupakan bagian dari boiler yang difungsikan sebagai wadah penampungan air dan *steam*. Pada drum terdapat pipa- pipa yang berfungsi untuk menyalurkan hawa panas dari ruang bakar untuk memanaskan air dalam drum. Drum menampung air dan uap jenuh (*saturated steam*) dengan komposisi perbandingan 50:50. Kemudian uap jenuh diteruskan ke pipa superheater untuk selanjutnya diubah menjadi uap kering (*superheated steam*). Gambar 2.3 merupakan *steam drum boiler*.



Gambar 2. 3 *Steam Drum boiler* Sumber (HASIBUAN J., 2023)

## 3. Pipa *superheater*

*Superheater* merupakan pipa pengering uap dengan tujuan untuk melakukan pemanasan secara lanjut uap saturasi menjadi uap super kering, Proses pemanasan lanjut dengan pipa-pipa *superheater* yang dipanaskan dengan temperatur 250 °C - 300 °C. *Superheater* difungsikan untuk menaikkan kadar kekeringan uap dengan memanaskan menggunakan flue gas, tujuannya untuk memanaskan uap hingga mencapai temperatur tertentu agar dapat digunakan untuk menggerakkan turbin. Pada gambar 2.4 merupakan komponen pipa *superheater* pada *boiler* kombinasi pipa air dan pipa api.

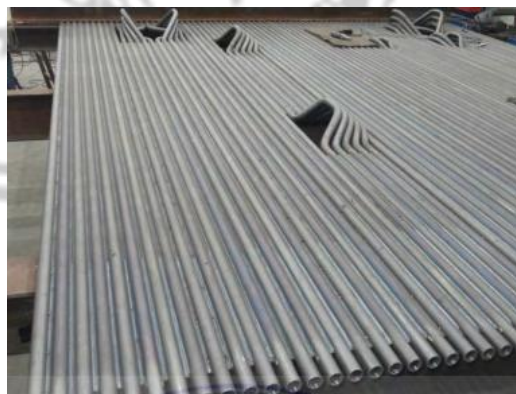


Gambar 2. 4 Pipa *superheater* sumber (HASIBUAN J., 2023)

### 2.2.3 Lapisan pelindung dinding ruang bakar *boiler*

#### 1. Pipa baja (*waterwall tube*)

Pada *furnace boiler* terdapat komponen *waterwall tube*, dimana panas pembakaran meradiasi pipa dan memanaskan serta menaikkan temperatur air didalamnya untuk selanjutnya diubah menjadi uap. Umumnya *waterwall* disusun secara vertical diruang bakar. Pada Umumnya pipa *waterwall* terbuat dari material logam yang memiliki kekuatan tahan suhu tinggi, ketahanan korosi, dan tekanan tinggi (HASIBUAN J., 2023). Bisa dicermati dalam gambar 2.6 *waterwalltube*.



Gambar 2. 5 *Waterwall tube* sumber (HASIBUAN J., 2023)

#### 2. Refraktori

*Refraktori* adalah merupakan material bukan logam yang memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi sehingga dapat digunakan untuk suatu konstruksi struktur bangunan atau suatu sistem yang dikenai temperatur

tinggi, bahan *refraktori* harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan seperti tahan temperatur tinggi, tahan terhadap perubahan suhu yang mendadak, serta memiliki nilai konduktivitas *thermal* yang rendah. Gambar 2.6 merupakan contoh lapisan dinding material *refraktori*.



Gambar 2. 6 Lapisan *refraktori* batu bata sumber (HASIBUAN J., 2023)

### 3. Insulasi

Insulasi merupakan suatu material yang berfungsi sebagai peredam energi, baik panas, bunyi dan arus listrik serta getaran. Insulasi ialah material yang mempunyai bobot konduktivitas *thermal* yang rendah maka sangat baik dalam meredam panas, meminimalisir kehilangan panas. umumnya ada 2 jenis material insulasi yang sering digunakan untuk insulasi ruang bakar, yaitu *rockwool* dan *glasswool*. *rockwool* terbuat dari batuan mineral yang lebih padat dan berat, dibandingkan *rockwool* insulasi *glasswool* lebih ringan dan murah serta dapat menahan temperatur maksimal 200°C. Dapat dilihat dari gambar 2.8 Insulasi material *glasswool*.

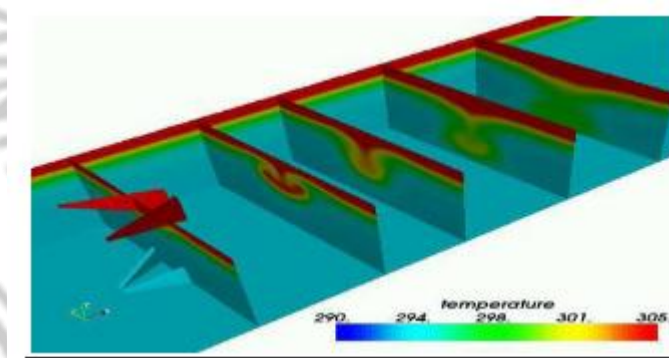


Gambar 2. 7 Insulasi material *glasswool* sumber sumber (HASIBUAN J., 2023)

### 2.3 Perpindahan Panas

Perpindahan panas ialah bidang kajian yang membahas proses berpindahnya energi pada suatu benda sebagai akibat adanya perbedaan suhu. Proses ini dapat terjadi pada suatu sistem maupun pada permukaan tertentu yang bersuhu tinggi menuju sistem dengan suhu lebih rendah dan berhenti setelah keduanya memiliki besar suhu yang sama, ilmu perpindahan panas bukan sekedar membahas tentang memperkirakan panas dapat pindah, tetapi untuk mengestimasi tingkat dimana pertukaran panas tersebut terjadi yang dipengaruhi kondisi tertentu (Tripathy, 2006).

Mekanisme fisik utama yang menyebabkan peningkatan *transfer* panas adalah pembentukan dan penguatan *vortisitas* arah pergerakan yang cukup kuat yang berinteraksi dengan lapisan batas *thermal*, Stratifikasi lapisan batas termal di dekat dinding yang dipanaskan terganggu oleh *vortisitas* ini. konveksi fluida yang lebih hangat secara tegak lurus terhadap dinding yang dipanaskan dan pencampuran dengan fluida yang lebih dingin diperkuat, dan, selain itu, momentum eksternal tambahan ditransportasikan ke wilayah lapisan batas dalam (GUPTA, 2012).



Gambar 2. 8 *Stratifikasi* pada lapisan logam sumber (GUPTA, 2012).

Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana panas menyebar di dalam saluran berstruktur kompleks, dengan pengaruh dari sumber panas dan bentuk geometri saluran. Pola warna menunjukkan bahwa panas terkonsentrasi di dekat sumber dan tersebar secara tidak seragam akibat aliran fluida dan turbulensi lokal.

Karakteristik fenomena perpindahan energi panas dan aliran fluida saling terkait dengan cara alami menjadi faktor utama yang memengaruhi efisiensi termal secara langsung, kebanyakan alat komputasi yang kuat kini tersedia untuk menganalisis dinamika aliran fluida serta karakteristik transfer panas pada unit turbin gas, sehingga memudahkan penelitian untuk mengeksplorasi metode yang dapat meningkatkan efisiensi *thermal* dan mekanis (Samarasinghe et al., 2019).

Panas merupakan energi termal, sedangkan perpindahan panas ialah tahap perpindahan energi tersebut. Jumlah panas dinyatakan dengan  $Q$  sedangkan laju perpindahan panas ditulis sebagai  $\dot{Q}$ , di mana tanda titik menunjukkan besaran per satuan waktu. Laju perpindahan panas mempunyai satuan *joule* per detik (J/s) atau *watt* (W) (Murdani, 2025).

Apabila laju perpindahan panas  $\dot{Q}$  diketahui, maka jumlah panas total yang berpindah  $Q$  selama selang waktu  $\Delta t$  dapat dihitung dari hubungan berikut:

$$Q = \int_0^{\Delta T} \dot{Q} dt \quad (2.2.1)$$

Untuk kasus khusus  $\dot{Q} = \text{constant}$ , persamaan 2.2.1 berkurang dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = h \cdot \Delta t \quad (2.2.2)$$

Laju perpindahan panas yang dinyatakan per satuan luas dengan arah aliran panas disebut sebagai *heat flux*, nilai rata-rata dapat dituliskan berikut :

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (2.2.3)$$

Dimana  $A$  adalah luas perpindahan panas, satuan *heat flux* dalam bahasan Inggris adalah Btu/h.ft<sup>2</sup> atau W/m<sup>2</sup>. Perhatikan bahwa *heat flux* dapat bervariasi sesuai waktu dan posisi pada permukaan.

Dimana :

$\dot{Q}$  = Laju perpindahan panas total ( W )

$\dot{q}$  = Fluk panas / *heat flux* ( W/m<sup>2</sup> )

dt = Differensial waktu ( t )

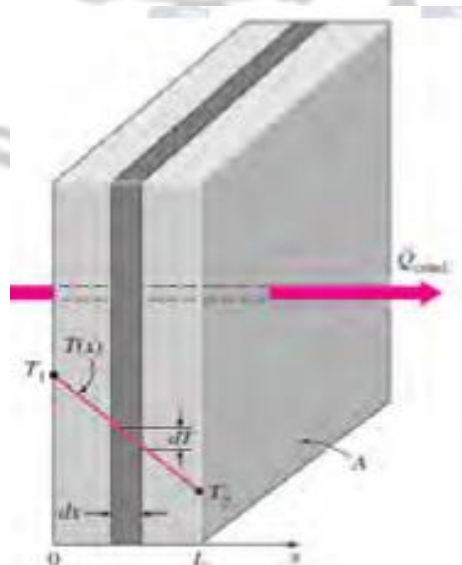
A = Luas penampang dari proses perpindahan panas dalam satuan (m<sup>2</sup>)

### 2.3.1 Konduksi

Konduksi ialah tahapan pemindahan energi yang dijalankan oleh partikel-partikel suatu zat yang lebih aktif kepada partikel-partikel di sekitarnya yang kurang aktif. Proses ini terjadi lantaran interaksi antara partikel-partikel tersebut. Konduksi bisa terjadi berbentuk benda cair, padat, atau gas. Dalam cairan dan gas, konduksi terjadi lantaran penyebaran dan tumbukan molekul saat bergerak secara acak. Untuk benda padat, proses ini diakibatkan oleh getaran molekul pada struktur dan pemindahan energi oleh elektron yang bebas, contohnya:

- Minuman kaleng yang dingin akan menjadi hangat di dalam ruangan yang panas. Hal tersebut terjadi lantaran panas dari ruangan berpindah ke minuman lewat kaleng aluminium dengan cara konduksi, sampai mencapai suhu kamar.

Kecepatan aliran panas lewat suatu bahan terpengaruh oleh bentuk bahan, jenis material, ketebalan, dan perbedaan suhu yang ada. Studi memaparkan bahwasanya memakai glasswool sebagai isolasi pada tangki air panas bisa menurunkan jumlah panas yang hilang. Ketika ketebalan isolasi meningkat, jumlah panas yang hilang pun menjadi semakin sedikit. Terdapat juga fakta bahwasanya pemanas air akan kehilangan suhu dengan cepat saat suhu ruangan yang menempatkan pemanas diturunkan. Selain itu, semakin besar ukuran pemanas, semakin luas area permukaan yang dimiliki, sehingga tingkat kehilangan panasnya juga semakin tinggi (Jamaluddin, 2018).



Gambar 2. 9 Perpindahan panas konduksi pada dinding datar (Sumber : Incopera, Dewitt, Lavine, & Bergman, 2011)

Rumus Laju perpindahan perpindahan panas konduksi melalui dinding (Incropera et al., 2011):

$$qx'' = -K \frac{dt}{dx} \quad (2.2.4)$$

Jika dalam kondisi *steady state*, *gradient temperature* yang dapat dilihat dari gambar 2.3 menjadi  $\frac{dt}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$  Sehingga persamaanya menjadi seperti berikut:

$$qx = -KA \frac{dt}{dx} \quad (2.2.5)$$

Dimana :

$q$  : menyatakan laju perpindahan panas dengan satuan watt (W).

$\dot{q}x$  : merupakan fluks panas dengan satuan watt per meter persegi ( $\frac{W}{m^2}$ ), yakni kecepatan aliran panas dalam arah positif sumbu x per satuan area yang tegak lurus dengan arah aliran panas.

$\frac{dt}{dx}$  : gradien suhu.

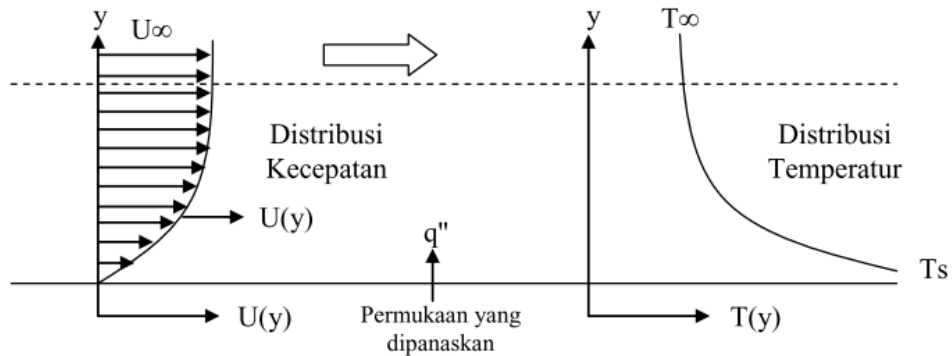
A : Luas Penampang.

k : Konduktivitas termal dengan satuan  $W/(m \cdot K)$  merupakan sifat khas suatu material yang menyusun dinding.

### 2.3.2 Konveksi

Perpindahan panas melalui konveksi berlangsung saat fluida yang bergerak berhubungan dengan suatu permukaan yang memiliki suhu yang tidak sama. Mekanisme ini melibatkan perpindahan energi akibat tumbukan acak antar molekul serta akibat aliran fluida itu sendiri. Proses konveksi berlangsung pada daerah batas antara fluida bergerak dan permukaan yang bersuhu tidak sama (Walujodjati, n.d.).

Aliran cairan yang berjalan di atas permukaan yang dipanaskan bisa terlihat sebagaimana yang ditampilkan dalam gambar 2.10 berikut.



Gambar 2. 10 Fenomena perpindahan panas konvektif pada daerah lapisan batas termal pelat datar Sumber : (Walujodjati, n.d.).

Perpindahan panas secara konveksi dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu nilai koefisien konveksi termal, luas permukaan media yang berinteraksi, serta perbedaan suhu yang terjadi selama aliran panas berlangsung. Pada konveksi alami, jumlah energi panas yang berpindah setiap satuan waktu berbanding lurus dengan luas permukaan benda yang kontak dengan fluida dan selisih temperatur antara keduanya. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan dibawah ini :

$$\frac{Q}{t} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.3.2)$$

Keterangan :

$Q$  : menyatakan total energi panas yang berpindah dengan satuan joule (J)

$t$  : adalah waktu terjadinya proses perpindahan panas dalam satuan detik (s)

$h$  : Merupakan koefisien konveksi termal dengan satuan watt per meter kelvin (W/m<sup>2</sup>K)

$A$  : Menunjukkan luas permukaan media yang terlibat dalam perpan dengan satuan meter persegi (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  : Menyatakan selisih suhu yang menyebabkan terjadinya aliran panas dan dinyatakan dalam satuan kelvin (K)

Melalui koefisien perpindahan panas konveksi bisa dicermati dalam rumus berikut:

$$h = 0,664 \cdot \frac{K}{L} \cdot Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad (2.3.3)$$

Dimana :

$h$  : Koefisiensi konveksi *thermal* (W/m<sup>2</sup>k)

$K$  : Konduktivitas *thermal* ( $\frac{W}{m \cdot K}$ )

$L$  : Panjang karakteristik (m)

$Re$ : *Reynolds number* ( tak berdimensi )

$Pr$  : Bilangan Prandtl (tak berdimensi)

Koefisien konveksi dipengaruhi oleh keadaan lapisan batas, sebagaimana karakteristik aliran, geometri permukaan, serta sifat termodinamika fluida. Pada sistem dengan kondisi kompleks, nilai koefisien konveksi termal  $h$  ditentukan melalui metode eksperimen (Garcia et al., n.d.).

Bersumber sifat alirannya, konveksi dibagi ke dalam konveksi buatan dan alami. Konveksi alami terjadi lantaran perbedaan densitas fluida yang disebabkan oleh suhu yang berbeda, sementara konveksi buatan terjadi ketika aliran fluida dipaksa bergerak oleh aspek luar sebagaimana pompa, kipas, atau angin. Pada analisis konveksi, koefisien perpindahan panas menjadi parameter utama yang nilainya dipengaruhi oleh kondisi aliran yang dinyatakan melalui bilangan *Reynolds* ( $Re$ ), bilangan *Prandtl* ( $Pr$ ), serta bentuk lintasan aliran..

Bilangan *Reynolds* ( $Re$ ) ialah angka tanpa dimensi yang membandingkan kekuatan inersia dari fluida dengan kekuatan viskositasnya. Dalam perpindahan panas konveksi, bilangan ini dipakai guna menetapkan apakah aliran fluida yang sifatnya laminar atau turbulen, dan bisa dinyatakan melalui persamaan berikut:

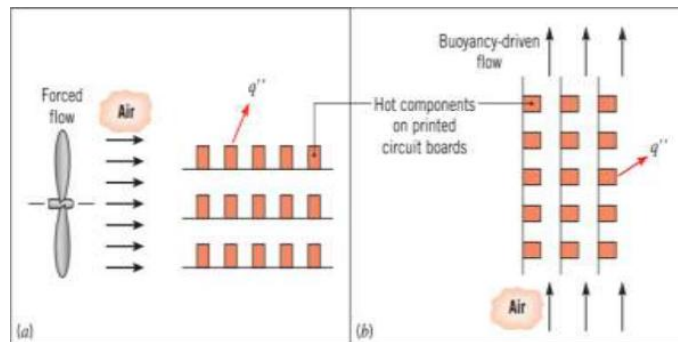
$$Re = \frac{V \times L}{\mu} \quad (2.3.4)$$

Dimana :

$V$  : kecepatan fluida. ( $\frac{m}{s}$ )

$L$  : Diameter. (mm)

$\mu$  : Viskositas kinematik. ( $\frac{m^2}{s}$ )



Gambar 2.11. Ilustrasi proses perpindahan panas konveksi. Sumber : (Hisyam, 2016).

Bilangan *Prandtl* ( $Pr$ ) adalah bilangan tak berdimensi yang menggambarkan perbandingan antara difusi momentum (viskositas kinematik) dan difusi panas (difusi termal) dalam fluida. Viskositas kinematik mengukur seberapa cepat momentum menyebar melalui gerakan molekul, sedangkan difusi termal menunjukkan kecepatan penyebaran panas. Rasio kedua besaran ini mencerminkan hubungan relatif antara difusi momentum dan panas. Nilai bilangan Prandtl dapat dituliskan sebagai :

$$Pr = \frac{v}{a} = \frac{\mu}{\rho} = \frac{Cp_{\mu}}{k} \quad (2.3.5)$$

Dimana :

$V$  : Viskositas kinematik, ( $\frac{m^2}{s}$ )

$Cp_{\mu}$  : Konstanta panas spesifik pada tekanan konstan, ( $\frac{j}{kg^{\circ}K}$ )

$\rho$  : Densitas fluida, ( $\frac{kg}{m^3}$ )

$k$  : menunjukkan kemampuan fluida untuk menghantarkan panas, ( $\frac{W}{m^{\circ}K}$ )

$\mu$  : menunjukkan ukuran kekentalan suati fluida, ( $\frac{m^2}{s}$ )

Bilangan Nusselt (Nu) adalah bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan antara perpindahan panas akibat konveksi dan konduksi dalam fluida. Bilangan ini menggambarkan seberapa efektif konveksi dibandingkan dengan konduksi murni dan dapat didefinisikan sebagai :

$$Nul = \frac{h}{kf} \quad (2.3.6)$$

Dimana :

*Nul* : Bilangan *nusselt*,

*h* : Koefisien perpindahan panas konveksi, ( $\frac{W}{m^2 K}$ )

*kf* : Konduktivitas fluida, ( $\frac{W}{m K}$ )

Nu berfungsi sebagai fungsi dari Re dan Pr, yang menggambarkan pola aliran. Keterkaitan ini berbeda-beda tergantung pada konfigurasi aliran dan jalur yang dilalui, dan umumnya ditetapkan melalui pengujian eksperimental, Contohnya, dalam kasus aliran laminar yang mengalir di atas plat datar, hubungan tersebut dapat dinyatakan melalui korelasi empiris seperti :

Aliran laminar yang melewati pelat datar

$$Nul = 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{1/3} \quad (2.3.7)$$

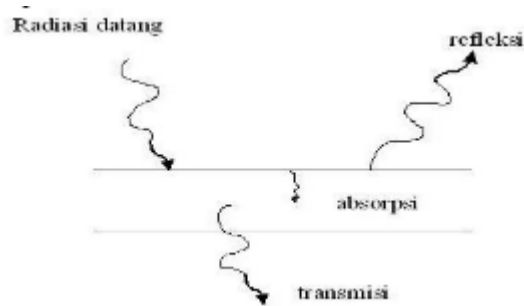
Aliran turbulen ayang melewati pelat datar

$$Nul = 0,296 Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3} \quad (2.3.8)$$

### 2.3.3 Perpindahan panas radiasi

Panas juga dapat ditransfer melalui media udara dalam hal ini adalah mekanisme perpindahan panas radiasi melalui gelombang elektromagnetik. Mekanisme perpindahan panas radiasi berbeda dengan hantaran dan aliran dimana perpindahan panas menggunakan suatu media penghantar. Perpindahan panas radiasi terjadi pada suatu benda dengan benda lainnya melalui gelombang

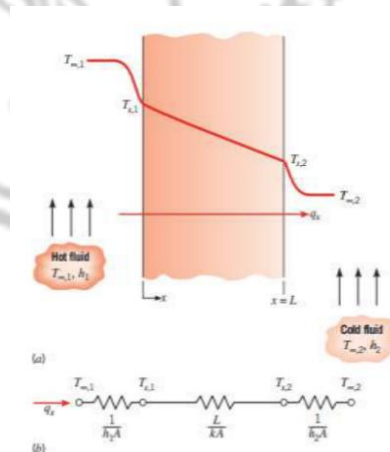
elektromagnetik tanpa bergantung pada media diantara benda yang menerima panas. Konsep sederhana radiasi yaitu panas matahari yang merambak lewat gelombang elektromagnetik di lapisan atmosfer bumi. Pada gambar 2.12 merupakan skema perpindahan panas secara radiasi.



Gambar 2. 12 Skema perpindahan panas radiasi. sumber (Michael & Hulu, 2021)

### 2.3.4 Perpindahan panas gabungan

Pada suatu sistem, perpindahan panas sering dialami melalui lebih dari satu prosedur, yakni kombinasi konveksi, konduksi, dan radiasi. Misalnya, perpindahan panas yang melibatkan konduksi dan konveksi sebagaimana dalam gambar 2.13 bisa dianalisis dengan lebih mudah menggunakan pendekatan resistansi termal (R). Metode ini memungkinkan perhitungan aliran panas tanpa harus mengetahui suhu permukaan benda ( $T_{s,1}$  dan  $T_{s,2}$ ) (Hisyam, 2016).



Gambar 2. 13 Perpindahan panas gabungan Sumber : (Hisyam, 2016).

Pada gambar 2.13 menunjukkan perpindahan panas secara gabungan dengan melibatkan konveksi, konduksi, dan konveksi lagi. Untuk prosesnya adalah aliran panas melewati dinding pemisah, seperti plat logam atau pipa yang memisahkan dua fluida memiliki suhu berbeda-beda.

Maka laju perpindahan panasnya :

$$q_x = \frac{T_1 - T_2}{R_{tot}} \quad (2.3.9)$$

$$R_{tot} = \frac{L}{h_1 A} + \frac{L}{KA} + \frac{L}{h_2 A} \quad (2.3.10)$$

Keterangan :

$R_{tot}$  : Total tahanan panas ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$T_{\infty,1}$  : Suhu fluida pertama, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\infty,2}$  : Suhu fluida kedua, ( $^{\circ}\text{C}$ )

$h_1$  : Koefisien konveksi untuk fluida pertama ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$h_2$  : Koefisien konveksi untuk fluida kedua, ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )

$A$  : Luas permukaan tempat terjadinya perpindahan panas 2, ( $\text{m}^2$ )

$L$  : Tebal Plat (mm)

### 2.3.5 Perpindahan panas keseluruhan

Koefisien transfer panas total ialah jumlah dari semua koefisien transfer panas yang mencakup konveksi dan konduksi. Transfer panas total bisa dihitung dengan membagi selisih suhu total dengan total resistansi thermal. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (*Overall Heat Transfer Coefficient*,  $U$ ) ialah aliran panas secara keseluruhan yang dihasilkan dari kombinasi antara proses konveksi dan konduksi. Koefisien pemindahan panas secara keseluruhan juga bisa diungkapkan dalam  $\text{W}/\text{m}^2$  dengan satuan *temperature*  $^{\circ}\text{C}$  (Murdani, 2025).

- Koefisiensi perpindahan panas keseluruhan total layanan.

Koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ) menunjukkan besarnya nilai yang diperlukan agar proses perpindahan panas di dalam alat penukar panas dapat berlangsung. Nilai  $U$  ini kemudian digunakan dalam persamaan berikut

:

$$Q = UA\Delta LMTD \quad (2.3.11)$$

Keterangan :

$Q$  : Laju perpindahan panas atau kalor yang berpindah (kcal/hr)

$A$  : Luas permukaan tempat terjadi panas yang berpindah ( $m^2$ )

$U$  : Koefisien perpindahan panas keseluruhan ( kcal/hrm<sup>2</sup>°C)

$LMTD$  : Perbedaan rata-rata suhu logaritmik (°C)

Luas pertukaran panas ditentukan oleh luas permukaan tempat terjadinya perpindahan panas pada persamaan (1), yaitu area di mana panas berpindah antar fluida melalui dinding tabung. Dengan demikian, luas perpindahan panas dihitung berdasarkan luas tabung yang bersentuhan dengan fluida. Nilai luas kontak perpindahan panas ( $A$ ) diperoleh menggunakan persamaan berikut di 2.3.13

$$A = \pi \cdot D_0 \cdot L \cdot n \quad (2.3.13)$$

$A$  : Luas permukaan tempat terjadi panas yang berpindah ( $m^2$ )

$D_0$  : Diameter tabung pipa bagian luar (m)

$L$  : Panjang tiap tabung dalam satuan meter. (m)

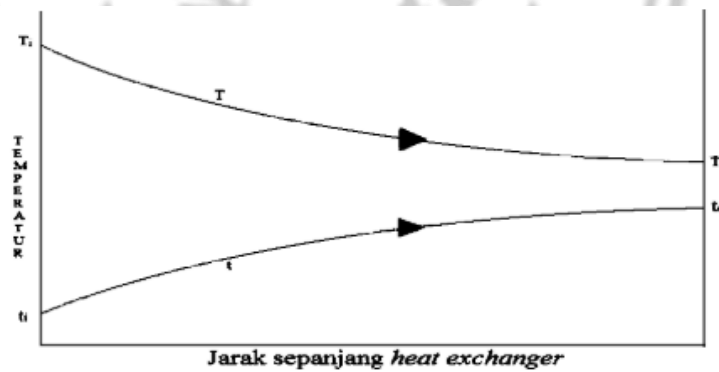
$n$  : Jumlah total pipa yang digunakan.

Menurut persamaan (2.3.12), laju aliran fluida memengaruhi secara langsung besarnya perpindahan panas ( $Q$ ) di alat penukar panas. Besaran  $Q$  yang terjadi pada fluida panas maupun fluida dingin adalah identik. Menyebabkan laju alir fluida akan berbanding lurus terhadap nilai heat transfer rate dan hal tersebut juga akan menyebabkan berbanding lurus pula dengan nilai overall heat transfer coefficient yang ditunjukkan dalam persamaan (2.3.11)

Dalam persamaan (2.3.11), terdapat konsep LMTD (*log mean temperature difference*), yang menunjukkan perbedaan temperatur rata-rata secara logaritmik. Besar LMTD bergantung pada jenis penukar panas yang dipakai, yang secara umum dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan arah aliran fluida: aliran berlawanan (*counterflow*), aliran searah (*parallel flow*), dan multi-pass atau aliran silang (*cross flow*), LMTD memperlihatkan selisih suhu pada satu ujung alat penukar panas dikurangi selisih suhu pada ujung lainnya dari alat penukar panas dibagi dengan logaritma natural dari rasio kedua selisih suhu tersebut. Perhitungan LMTD ditunjukkan dalam persamaan

$$LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2.3.14)$$

Nilai  $\Delta T_{max}$  dan  $\Delta T_{min}$  dipengaruhi oleh variasi pola aliran yang terjadi pada alat penukar panas, nilai  $\Delta T_{max}$  terjadi adanya  $(T_1 - t_1)$  dikarenakan adanya perbedaan *temperature inlet* terbesar antara dua fluida sedangkan pada  $\Delta T_{min}$  ( $T_0 - t_0$ ) tidak ada perbedaan *temperature* karena pada kedua kurva di *outlet* mendekati di sepanjang aliran fluida.



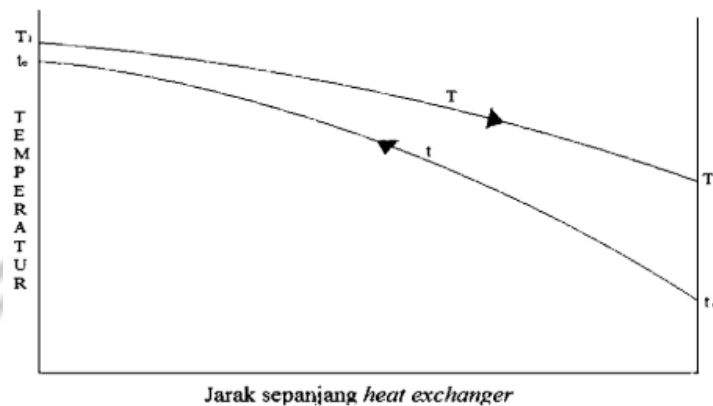
Gambar 2. 14 Aliran perpindahan panas searah.  
sumber (murdani, 2025 )

Pada gambar 2.14 merupakan distribusi temperatur sepanjang perpindahan panas dengan aliran searah (*parallel flow*), kedua fluida memasuki penukar di sisi kiri dan mengalir berarah sama ke kanan. Untuk kurva atas menunjukkan profil temperatur fluida panas yang menurun dari suhu masuk ke suhu keluar sedangkan

kurva bawah menunjukkan profil temperatur fluida dingin yang meningkat dari suhu masuk ke suhu keluar. Panjang *horizontal* mempresentasikan jarak sepanjang perpindahan panas yang terjadi (dari *inlet* ke *outlet*).

Sedangkan pada fluida berlawanan arah,  $\Delta T_{\max} = (T_1 - t_0)$  dan  $\Delta T_{\min} = (T_0 - t_1)$ , untuk

Keterangan tambahan mengenai hal ini bisa diperjelas lewat gambar 2. 16.



Gambar 2. 15 Menunjukkan pola perpindahan panas di mana fluida bergerak saling berlawanan arah. Sumber: (murdani,2025)

Di gambar 2.15 merupakan distribusi temperatur sepanjang perpindahan panas, ketika kedua fluida mengalir berlawanan arah (*counterflow*). Satu fluida (sering disebut fluida panas) masuk pada ujung kiri dengan suhu inlet  $T_1$  dan keluar pada ujung kanan dengan suhu outlet  $T_0$ , fluida lain (sering disebut fluida dingin) masuk pada ujung kanan dengan suhu *inlet*  $t_1$  dan keluar pada ujung kiri dengan suhu *outlet*  $t_0$ . Kurva suhu pada gambar menunjukkan dua profil temperatur yang bergerak berlawanan yaitu temperatur pada fluida panas menurun dari kiri ke kanan, sedangkan temperatur fluida dingin meningkat dari kanan ke kiri.

### 2.3.6 Mekanisme Perpindahan Panas Melalui Kalor Sensibel dan Kalor Latent

Salah satu wujud energi adalah kalor. Apabila suatu zat menerima atau melepaskan kalor, terdapat dua kemungkinan yang bisa terjadi. Kemungkinan pertama adalah terjadinya perubahan suhu zat, yang disebut kalor sensibel (*sensible heat*). Yang kedua adalah perubahan fase zat, yang disebut kalor laten (*latent heat*).

- Kalor sensibel (*Sensible heat*)

Temperatur akan meningkat jika zat suau menerima kalor sensibel, tetapi akan turun apabila zat melepaskan kalor sensibel. Berikut adalah persamaan untuk suhu sensitif:

$$Q = m. C_p. \Delta T \quad (2.3.15)$$

Keterangan :

$Q$  : Jumlah energi kalor yang dilepaskan atau diserap oleh suatu zat (J)

$m$  : Massa dari suatu zat yang mengalami perubahan suhu (Kg)

$C_p$  : *Spesific heat*  $\frac{J}{kg.K}$

$\Delta_t$  : Besarnya perubahan suhu yang terjadi (K)

- Kalor jenis (*Latent heat*)

Perubahan suhu akan terjadi ketika suatu zat melepaskan atau menerima kalor, tetapi pada akhirnya akan mencapai keadaan jenuhnya dan mengalami perubahan fase. Kalor laten terdiri dari dua jenis: Kalor laten merujuk pada energi yang diperlukan guna merubah fase zat, misalnya dari padat ke cair atau cair ke gas, dan sebaliknya. Kalor jenis ini biasanya melebihi kalor sensibel.

Perubahan fase zat dapat dirumuskan secara umum melalui persamaan beriku :

$$Q = m. hl \quad (2.3.16)$$

Keterangan :

$Q$  : Jumlah energi kalor yang dilepaskan atau diserap oleh suatu zat (J)

$hl$  : Kalor jenis  $\frac{kJ}{kg}$

Ketika udara bergerak melintasi permukaan yang lembab, transfer panas sensibel dan laten terjadi secara bersamaan jika ada perbedaan suhu antara permukaan tersebut dengan udara. Perpindahan massa uap air terjadi ketika terdapat pada temperatur antara tekanan parsial uap air di udara dan tekanan parsial uap air pada permukaan basah. Perpindahan massa ini juga menghasilkan transfer panas lantaran panas yang tersimpan dilepaskan dari air saat air berubah menjadi uap. Sementara, bila zat cair menguap dari permukaan basah, air perlu menyerap panas untuk proses penguapan (Hisyam, 2016).

## 2.4 Pengeringan

Tahapan berikut mencakup transfer uap air atau panas secara bersamaan, yang membutuhkan energi panas guna mengubah kadar air yang sudah dipindahkan dari permukaan bahan menjadi uap. Dua kelompok aspek yang memengaruhi pengeringan meliputi:

1. Aspek yang berkaitan dengan udara yang dipakai guna pengeringan: aspek ini meliputi laju aliran udara pengering secara volumetrik, temperatur, serta kelembaban.
2. Aspek yang berkaitan dengan karakteristik bahan yang dikelompokkan khususnya pada kategori ini ialah dimensi suatu bahan, tekanan parsial di dalam bahan, dan tingkat kelembaban awal.

Energi diperlukan guna memanaskan perangkat pengering, memanaskan material, menyeimbangkan radiasi panas yang keluar dari alat, menguapkan kelembaban dari material, dan menggerakkan udara pada tahap pengeringan secara mekanis ini. Ketika suhu pengeringan meningkat, jumlah energi yang diberikan juga bertambah dan proses pengeringan menjadi lebih cepat. Akan tetapi, bila pengeringan berlangsung terlalu cepat, hal tersebut bisa menyebabkan kekeringan yang tidak sebanding dengan kecepatan air yang hilang dari permukaan material. Dampaknya, permukaan material menjadi kaku dan uap air tidak bisa keluar lantaran dihalangi permukaannya yang sudah kering. Pemakaian suhu yang sangat tinggi bisa merusak material. Terdapat dua metode untuk menjalankan pengeringan mekanis, yakni:

1. Pengeringan langsung (konveksi) ialah ketika udara pengering dilepaskan melalui bahan.
2. Pengeringan tidak langsung (konduksi): dinding panas bersentuhan dengan bahan yang hendak dikeringkan secara konduksi.

Ada dua kejadian yang dialami pada tahap pengeringan, diantaranya:

- Perpindahan panas ke dalam bahan
- Massa air berpindah dari udara ke permukaan bahan dan dari dalam bahan ke permukaannya.

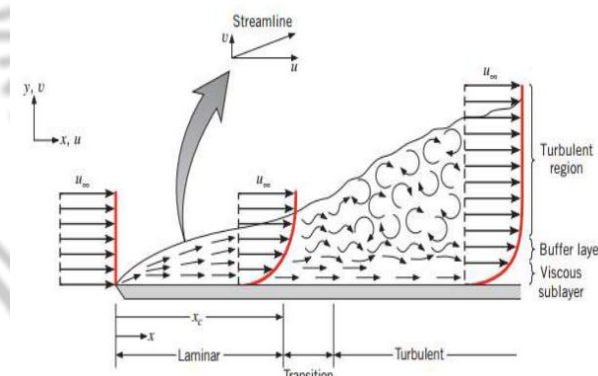
Tahap pemindahan panas terjadi akibat peningkatan suhu ketika suhu melewati material melalui konveksi atau lewat dinding yang memiliki konduktivitas panas.

Kenaikan tekanan uap air di permukaan material ini mengakibatkan pemindahan panas, di mana uap air pada material ada pada keadaan seimbang dengan tekanan uap air di lingkungan sekelilingnya(Hisyam, 2016).

Selama proses pengeringan, tekanan uap air meningkat seiring dengan kenaikan suhu bahan, yang mengakibatkan pengeringan permukaannya. Setelah suhu material naik, tekanan uap air di atas permukaannya akan berkurang. Difusi ialah proses di mana air berpindah dari bagian dalam ke permukaan material lagi. Pada suatu saat, tekanan uap air di permukaan material akan menurun hingga mencapai keseimbangan dengan udara di sekelilingnya.

#### 2.4.1 Aliran laminer maupun turbulen

Guna menghentikan pertanyaan mengenai apakah aliran tersebut turbulen atau laminar, langkah pertama yang perlu diambil ialah mengidentifikasi jenis aliran tersebut. Keadaan ini sangat berdampak pada gesekan permukaan serta kecepatan perbedaan konveksi. Gambar berikut menampilkan perbedaan yang jelas antara keadaan turbulen dan laminar. Gerakan fluida yang sangat teratur di batas laminar membuat kita dapat membedakan partikel yang panjang pada garis *streamline*.



Gambar 2. 16 Lapisan batas kecepatan plat datar, sumber (Hisyam, 2016).

Komponen kecepatan dalam arah X dan Y memperlihatkan arah pergerakan fluida sepanjang garis alir. Lantaran elemen kecepatan  $V$  yang tegak lurus pada permukaan, aspek ini bisa berkontribusi signifikan pada transfer momentum, spesies, dan energi lewat lapisan batas. Pergerakan fluida yang tegak lurus pada permukaan dibutuhkan guna perkembangan lapisan batas dalam arah.

Pergerakan fluida pada lapisan batas turbulen yang sangat tidak teratur dan dicirikan oleh fluktuasi kecepatan berbeda. Karena fluktuasi ini meningkatkan perpindahan momentum, energi, dan spesies, laju perpindahan konveksi meningkat.

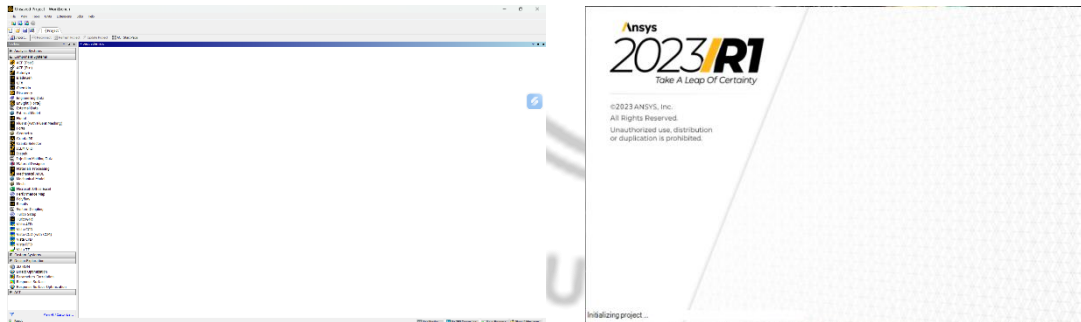
Lapisan batas kecepatan, temperatur, dan konsentrasi memiliki profil yang lebih tipis daripada lapisan batas turbulen karena hasil percampuran fluktuasi. adalah lebih datar dibandingkan dengan lapisan laminer.

Gambar 2.16 memperlihatkan situasi ini dalam pengembangan lapisan batas dalam plat datar. Di lapisan batas yang laminer dan pertama, sesudah sejumlah jarak dari ujung, perubahan ke aliran turbulen mulai berlangsung. Di kawasan transisi, variasi fluida mulai naik, dan nantinya, lapisan batas menjadi sepenuhnya turbulen. Ketebalan lapisan batas, perlawanan geser di dinding, dan koefisien konveksi memperlihatkan peningkatan yang signifikan sesudah peralihan menjadi turbulen.

Untuk aliran *internal* dan *eksternal*, bilangan *Reynold* dapat digunakan untuk menentukan aliran fluida, untuk aliran bebas, bilangan *Rayleigh* digunakan. Untuk aliran eksternal, bilangan *Reynold*  $< 5 \times 10^5$  sering disebut aliran laminar,  $5 \times 10^5 < Re < 5 \times 10^8$  sering disebut aliran transisi dan  $Re > 5 \times 10^8$  sering disebut aliran turbulen. Untuk aliran internal, bila bilangan *Reynold*  $< 2300$  sering disebut laminar. Jika lebih dari 4000 sering disebut turbulen. Dan bila berada diantara 2300 sampai 4000 itu disebut aliran transisi. Untuk aliran bebas ditentukan oleh *Rayleigh Number*. Aliran fluida termasuk laminar jika  $10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$  dan tergolong turbulen jika  $10^9 \leq Ra_L \leq 10^{13}$ .

## 2.5 Ansys Workbench

*Ansys Workbench* adalah salah satu perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang digunakan untuk menganalisa masalah-masalah rekayasa (*engineering*). *Ansys Workbench* menawarkan fasilitas untuk berinteraksi antar solver keluarga *Ansys*. *Ansys Workbench* juga dapat berintegrasi dengan perangkat lunak CAD, sehingga pengguna dapat membangun model geometri dengan berbagai perangkat lunak CAD (Simulasi et al., 2019).



Gambar 2. 17 View software Ansys workbench.

Di antara fasilitas *Ansys workbench* adalah :

1. *Mechanical*, *Mechanical*, untuk mengevaluasi struktur (statik) dan panas (perpindahan panas)
2. *Fluid Flow*, untuk analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD), terdiri dari ANSYS CFX dan *Fluent*.
3. Data Teknik, database material lengkap dengan atributnya.
4. *Design Modular*, dapat digunakan untuk membangun geometri model yang akan dievaluasi dan mengubah hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
5. *Fitur Meshing Application*, Fasilitas untuk "*meshing*" pada CFD dan *Dynamic Explicit*.
6. *BladeGen*, untuk membuat geometri pisau, seperti kipas, *blower*, sudut dari turbin.

Untuk perhitungan khusus fluida, mulai dari aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida menggunakan CFD, atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta spesies, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses penghitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol penghitungan

yang telah dilakukan dengan menggunakan persamaan yang ada, kontrol penghitungan akan dilakukan. Persamaan-persamaan ini dapat dibuat dengan menambahkan parameter domain apa saja. Misalnya, ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur, itu menunjukkan bahwa model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi energi. Kondisi batas adalah inisialisasi awal persamaan. Ini adalah kondisi di mana kontrol kontrol perhitungan diberi definisi awal dan akan diintegrasikan ke kontrol kontrol penghitungan yang berdekatan dengannya melalui persamaan-persamaan yang terlibat.

### 2.5.1 CFD ( *Computation Fluid Dynamic* )

CFD adalah metode untuk mengubah persoalan dari model *continuitas* (jumlah sel tak terhingga) ke model diskritisasi (Biksono et al., 2022). Ada beberapa metode yang dikenal sebagai metode diskritisasi untuk perhitungan atau komputasi aljabar untuk memecahkan persamaan diferensial parsial ini, salah satunya yaitu:

- FDM (*Finite difference method*) metode beda hingga  
Metode ini mendefinisikan turunan diferensial dengan pendekatan selisih hingga antar titik grid pada domain, sehingga menghasilkan system persamaan aljabar untuk menyelesaikan persamaan diferensial parsial.
- FEM (*Finite element method*) / metode elemen hingga  
Pendekatan numerik yang membagi domain masalah menjadi elemen-elemen kecil (*finite element*) dan menggunakan fungsi bentuk (*shape functions*) untuk memperkirakan distribusi variabel di dalam setiap elemen.
- FVM (*Finite volume method*) / metode volume hingga  
Metode ini mendasari perhitungannya pada keseimbangan *fluks*, (konservasi massa, momentum, dan energi) di dalam volume kontrol kecil, sehingga menjamin konservasi pada setiap elemen *domain*.
- BEM (*Boundary element method*) / metode element batas  
Merupakan suatu metode numerik yang mendefinisikan batas permukaan / *domain*, bukan seluruh *volumenya*. Cocok digunakan untuk masalah yang melibatkan *domain* tak terbatas seperti perpindahan panas konduksi atau gelombang.
- *High resolution scheme method* / metode skema resolusi tinggi

Merupakan pendekatan numerik lanjutan untuk menyelesaikan persamaan konservasi, terutama pada aliran fluida dengan *gradient* tajam atau diskontinuitas, yang dirancang agar menghasilkan solusi stabil dan akurat tanpa osilasi numerik.

Metode diskritisasi yang dipilih biasanya digunakan untuk mengevaluasi kestabilan program numerik/CFD atau program software yang saat ini digunakan. Oleh karena itu, mendiskritkan model harus dilakukan dengan hati-hati. Ini terutama berlaku untuk mengatasi bagian yang kosong atau diskontinyu. Untuk diskretisasi persamaan, Fluent menggunakan metode volume hingga sebagai integral persamaan umum. Solusi persamaan ini dibagi menjadi jumlah kontrol volume yang berhingga, dan persamaan umum ini digunakan untuk setiap kontrol volume. Titik pusat kontrol volume berfungsi sebagai modal komputasi untuk variable yang digunakan.

Karena dalam simulasi CFD terjadi aliran fluida dan perpindahan panas, tiga persamaan pembentuk aliran (*Governing Equation*) umum digunakan: hukum kekekalan massa (*continuitas*), hukum kekekalan momentum, dan hukum kekekalan energi (Pasaribu et al., 2023). Untuk persamaan 3 hukum dapat dilihat dibawah ini :

- Hukum kekekalan massa (kontinuitas)

Ini menunjukkan bahwa perubahan momentum suatu sistem sama dengan jumlah gayanya, atau dapat ditulis sebagai persamaan 2.5.1.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (2.5.1)$$

Dimana :

$\rho$  : Densitas fluida ( $kg/m^3$ )

$\vec{v}$  : Vektor kecepatan (m/s)

$\nabla$  : Nabla untuk aliran fluida *incompressible*

- Hukum kekekalan momentum (X,Y,Z)

Merupakan bahwa perubahan momentum dalam suatu system adalah sama dengan jumlah gaya pada system tersebut, atau dapat dituliskan dengan persamaan 2.5.2.

$$\nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla_p + \mu \nabla^2 v \quad (2.5.2)$$

Dimana :

- $-\nabla_p$  : Gaya tekanan terhadap fluida
- $\rho v v$  : Tensor momentum konveksi
- $\mu \nabla^2 v$  : Gaya viskositas (difusi momentum)

- Hukum kekekalan energi

Ini menunjukkan bahwa total energi dalam suatu sistem tertutup atau terisolasi konstan dengan kata lain, energi tidak dapat dibuat atau dimusnakan, hanya bentuknya yang dapat diubah. Fenomena ini dapat dihitung dengan rumus yang ada 2.5.3.

$$\frac{\partial(\rho c_p T)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v c_p T) = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q^T \quad (2.5.3)$$

Dimana :

- $\rho c_p T$  : Energi panas per satuan volume
- $\nabla \cdot (\rho v c_p T)$  : Aliran energi panas dengan konveksi
- $\nabla \cdot (k \nabla T)$  : Aliran energi panas akibat konduksi
- $Q^T$  : Sumber panas internal ( $W/m^3$ )

- Model turbulент k-epsilon.

Merupakan persamaan pembentukan aliran, karena persamaan tersebut sangat rumit dan membutuhkan banyak waktu untuk diselesaikan, sehingga diperlukan *software* numerik CFD untuk menghitung fenomena tersebut, dapat dihitung di rumus 2.5.4.

$$\mu_{turb} = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.5.4)$$

Dimana :

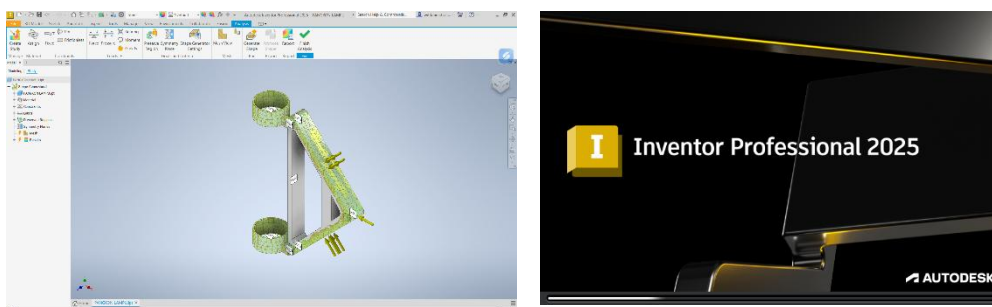
- $\mu_{turb}$  : Viskositas turbulen ( $Pa$ )
- $\rho$  : Densitas fluida
- $k$  : Energi turbulen spesifik ( $m/s^2$ )
- $\varepsilon$  : Laju disipasi energi turbulen ( $m/s^3$ )
- $C_\mu$  : Konstanta model ( $\approx 0,09$ )

## 2.6 Autodesk Inventor

*Autodesk inventor* adalah sebuah aplikasi CAD (*Computer Aided Design*) yang dikembangkan oleh perusahaan perangkat lunak asal Amerika Serikat dan merupakan pengembangan dari *Autocad*. Keunggulan *Autodek inventor* meliputi :

1. Kemampuan untuk mendesain dan mengubah dalam dua dimensi dan tiga dimensi.
2. Kemampuan untuk membuat komponen, memodelkannya, dan menganalisisnya.
3. Kemampuan untuk menggambar komponen yang telah disusun secara bergerak.
4. Kemampuan untuk mengubah desain bagian menjadi gambar teknik.

Analisis struktur seperti analisis frame dan stres adalah beberapa contoh analisis yang dapat dilakukan menggunakan program Autodesk Inventor. Untuk pengujiannya, analisis tekanan menggunakan teori *Finite Element Analysis* (FEA). Prinsip dasar analisis ini adalah membagi objek yang akan diuji menjadi elemen-elemen berhingga yang saling terhubung satu sama lain dan akan dikelola oleh program dengan perhitungan khusus untuk memberikan hasil yang lebih akurat (Ningtyas et al., 2021).



Gambar 2. 18 Autodesk inventor dan Strees analisis.

Untuk mensimulasikan kondisi dunia nyata di mana produk tersebut akan digunakan, desainer menggunakan model virtual daripada *prototype* nyata dan menganalisisnya melalui berbagai jenis simulasi. Perangkat lunak komputer kontemporer yang dibuat untuk membantu insinyur kontemporer dalam pekerjaan mereka mendukung proses ini. Biasanya, model virtual dibuat, yang mencerminkan gambar nyata, atau sedekat mungkin dengan nyata, dari konstruksi masa depan atau elemen tunggal. Tahap berikutnya adalah persiapan simulasi virtual, yang bertujuan untuk mereplikasi kondisi nyata penggunaan objek sebaik mungkin. Simulasi dinamis bertujuan untuk menganalisis pengaruh timbal balik antara bagian-bagian atau subunit konstruksi, biasanya menggunakan metode sistem *multibody*. Simulasi dinamis dapat memberikan informasi tentang gaya yang terkait dengan node-node individu konstruksi dan mentransfernya ke lingkungan statis yang berbeda untuk menganalisis, misalnya, regangan elemen konstruksi.

Metode ini sangat menguntungkan dari segi ekonomi, karena memungkinkan pengurangan biaya pengenalan produk baru ke fase produksi. Mengingat bahwa tindakan-tindakan ini dilakukan secara bertahap, dan dalam kebanyakan kasus setiap tahap menggunakan jenis perangkat lunak yang berbeda, terdapat masalah pembelian lisensi terpisah untuk setiap perangkat lunak komersial yang digunakan dan pelatihan khusus bagi orang-orang yang mengoperasikan perangkat lunak tersebut. Solusi alternatif bagi perusahaan dengan anggaran terbatas tampaknya adalah penggunaan sistem CAD dengan modul tambahan yang terintegrasi untuk perhitungan (Łukaszewicz, 2017).