

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas - Uap

PLTGU adalah gabungan dari PLTG dan PLTU yang dikombinasikan. PLTGU sangat efektif karena HRSG memanfaatkan kembali gas panas sisa dari turbin gas untuk menghasilkan uap. Energi yang dikonsumsi oleh peralatan PLTGU berasal dari turbin gas itu sendiri. Alat pendukung, seperti kompresor dan pompa, diputar oleh daya poros yang dihasilkan oleh turbin gas. Proses pembangkit listrik tenaga gas memiliki karakteristik yang membedakannya dari proses pembangkit listrik lain. Mereka dapat menjadi proses gas saja (PLTG) atau dapat digabungkan, yang membuat proses ini lebih efisien. Saat beban jaringan listrik mencapai puncak, jenis pembangkit listrik PLTGU ini biasanya menjadi sumber daya tambahan (Wibowo, 2018). Kelebihan PLTGU ini adalah dapat beroperasi secara cepat dan langsung online ke sistem transmisi paling cepat 10-15 menit

Dalam proses menghasilkan energi listrik PLTGU dapat beroperasi dengan 2 mode yaitu:

- a. Siklus Terbuka (*Opened Cycle*): Siklus Terbuka (*Opened Cycle*): Pada PLTGU, proses pembangkitan listrik turbin (yang dihasilkan oleh putaran turbin gas) terjadi ketika gas buang turbin gas langsung dibuang ke udara melalui cerobong atau stack saluran keluaran. Temperatur gas buang di cerobong saluran keluaran dapat mencapai 600°C.
- b. Siklus Gabungan (*Combined Cycle*): Dalam sistem siklus terbuka, gas buang turbin gas langsung dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong. Namun, dalam sistem siklus tertutup, gas buang turbin gas lebih lanjut digunakan untuk memanaskan air di dalam Generator Panas Pengembalian (HRSG). Turbin uap yang dibuat oleh HRSG ini kemudian digerakkan olehnya, yang kemudian memutar generator untuk menghasilkan listrik. Metode pembangkitan ini disebut Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Ini adalah proses pembangkitan listrik yang dihasilkan melalui penggabungan putaran turbin gas dan turbin uap. Secara umum, daya yang dihasilkan oleh sistem siklus tertutup lebih besar daripada yang dihasilkan oleh siklus terbuka. Kebutuhan listrik masyarakat menentukan pilihan antara siklus terbuka atau gabungan. Sebagai contoh, jika daya dari

siklus terbuka sudah mencukupi, maka damper yang mengatur aliran gas buang ke HRSG akan ditutup, sehingga gas buang langsung dilepaskan ke atmosfer melalui cerobong tanpa melewati HRSG dalam sistem *combined cycle*.

2.2 Kondensor Turbin Uap

Kondensor turbin uap adalah alat penukar kalor atau *heat exchanger* yang memiliki fungsi untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin menjadi air kondensasi yang selanjutnya disirkulasikan kembali di HRSG, kondensor bekerja dengan air laut sebagai media pendinginnya. Selain itu kondenser juga berfungsi sebagai media pembentuk vakum didalam siklus turbin uap.



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas - Uap Priok

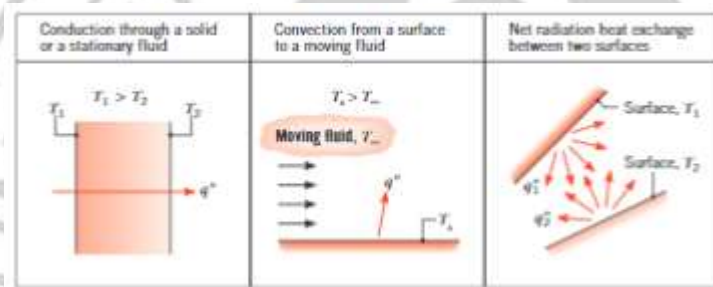
(Al Rosyid *et al.*, 2020)

Jenis kondensor yang digunakan di PLN Indonesia Power UBP Priok adalah *surface condenser*, yang merupakan tipe kondensor paling umum digunakan dalam sistem pembangkit listrik. Kondensor ini berfungsi sebagai alat penukar panas dengan desain shell and tube, di mana perpindahan panas terjadi melalui proses pengembunan (kondensasi) uap jenuh pada sisi shell, sementara air yang bersirkulasi di dalam tube dipanaskan secara paksa melalui konveksi. Prinsip kerja dari *surface condenser* dimulai ketika uap memasuki saluran steam inlet di bagian atas kondensor dan diarahkan ke sisi shell. Setelah itu, uap bersentuhan dengan permukaan luar tube kondensor dalam kondisi tekanan vakum, menurunkan suhu dan tekanan. Selama proses ini, uap berubah menjadi air kondensat, yang selanjutnya ditampung di dalam hotwell. Untuk menjaga suhu air di dalam pipa tetap rendah dan kondisi vakum dipertahankan, air harus selalu bergerak untuk menyerap kalor dari uap selama proses kondensasi, yang dikenal sebagai laten atau kalor kondensasi. Air kondensat yang terkumpul di dalam hotwell kemudian dipompakan melalui pemompaan kondensat.

2.3 Perpindahan Kalor atau Panas

Perpindahan kalor atau panas dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ilmu perpindahan panas juga menganalisis kecepatan perpindahan panas, atau laju perpindahan panas, yang terjadi selama proses perpindahan energi. Berpindahnya energi dari satu tempat ke tempat lain karena perbedaan suhu disebut perpindahan kalor. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, tiga jenis mekanisme perpindahan panas yang diketahui adalah konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Perpindahan panas secara konduksi



Gambar 2. 2 Perpindahan Panas Secara Konduksi, Konveksi, dan Radiasi
(Sumber: Bergman et al., 2011)

Perpindahan panas kalor secara konduksi terjadi ketika kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam sebuah medium (padat, cair, atau gas), atau antara dua medium atau secara langsung antara keduanya, sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Sesuai dengan persamaan dasar konduksi, laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi sebanding dengan gradien suhu normal.:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- A = Luas penampang (m^2)
- q = Laju perpindahan panas (Kj/det atau W)
- k = Konduktivitas termal (W/m.C)
- dT = Delta temperatur ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$)
- dX = Delta jarak (m/det)
- ΔT = Delta temperature ($^{\circ}C$, $^{\circ}F$)
- dT/dX = gradient temperatur kearah perpindahan kalor.

(Sumber: Holman, J.P., 1986. *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company)

Tanda minus menunjukkan hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu. Di sisi lain, konstanta positif "k" menunjukkan kehantaran termal benda atau konduktifitasnya. Jika hukum Fourier diterapkan pada suatu dinding datar, persamaan (2.1) akan digunakan untuk mendapatkan hubungan dasar aliran panas melalui konduksi. Perbandingan antara laju aliran panas yang melintasi permukaan isothermal dan gradient yang berlaku untuk setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu dikenal sebagai hukum fourier. (J. P. Holman, 1986).

$$q_k = -\frac{kA}{\Delta x}(T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

- q_k = perpindahan panas (W)
- k = konduktivitas termal (W/m·K)
- A = luas penampang area perpindahan panas (m²)
- T_1, T_2 = temperature masing-masing sisi dinding (°C atau K)
- Δx = ketebalan dinding (m)

(Sumber: Holman, J.P., 1986)

Jika konduktivitas termal, juga dikenal sebagai konduktivitas termal, dianggap tetap. Jika konduktivitas berubah menurut hubungan linear dengan temperatur, seperti :

$$k = k_0(1 + \beta T)$$

Maka persamaan aliran kalor menjadi:

$$q_k = -\frac{k_0 A}{\Delta x} \left[T_2 - T_1 + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2) \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

- k_0 = konduktivitas termal pada Temperatur referensi (W/m·K)
- β = koefisien perubahan konduktivitas terhadap Temperatur (1/K)
- T_1, T_2 = Temperatur pada dua sisi dinding (K)
- A = luas penampang (m²)
- Δx = ketebalan dinding (m)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik yang dikenal sebagai konduktivitas termal. Persamaan konduktivitas termal dasar adalah persamaan (2.1). Tabel 2.1 menunjukkan rumus yang dapat digunakan untuk melaksanakan pengukuran percobaan untuk mengukur konduktivitas termal berbagai bahan. Konduktivitas termal biasanya sangat bergantung pada temperatur.

Tabel 2. 1 Konduktivitas termal berbagai jenis Bahan

Konduktivitas Termal (K)		
Bahan	W/m°C	Btu/h.ft.°F
<i>Logam</i>		
Perak - murni	410	237
Tembaga - murni	385	223
Aluminium - murni	202	117
Nikel - murni	93	54
Besi - murni	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal - murni	35	20,3
Baja karbon-nikel (18% cr, 8% ni)	16,3	9,4
<i>Bukan logam</i>		
Kuarsa	41,6	24
Magnesit	4,15	2,4
Marmar	2,08 – 2,94	1,2 – 1,7
Batu pasir	1,83	1,06
Kaca	0,78	0,45
Kayu maple atau oak	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022
<i>Zat cair</i>		
Air raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312

Minyak pelumas SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, 22FCCI	0,073	0,042
<i>Gas</i>		
Hidrogen (H)	0,175	0,101
Helium (He)	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon dioksia (CO ₂)	0,0146	0,00844

b. Perpindahan panas secara konveksi

Konveksi adalah proses perpindahan panas karena pergerakan, aliran, atau pencampuran antara bagian yang lebih panas dengan bagian yang lebih dingin. Contoh dari fenomena ini adalah hilangnya panas dari radiator mobil atau pendinginan secangkir kopi. Dua jenis perpindahan panas secara konveksi adalah konveksi paksa dan konveksi bebas, masing-masing. Proses konveksi bebas terjadi ketika aliran fluida disebabkan oleh gaya atau dorongan dari luar (misalnya, dari pompa atau kipas yang menggerakkan fluida di sepanjang permukaan). Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir melalui saluran tertutup adalah salah satu contoh perpindahan panas melalui konveksi. Laju perpindahan panas pada beda Temperatur tertentu dapat dihitung dengan persamaan: (J. P. Holman, 1986)

$$q = -hA(T_w - T_{\infty}) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

q = Laju perpindahan panas (Kj/det atau W)

h = Konduktivitas perpindahan panas konveksi (W/m.C)

A = Luas penampang (m²)

T_w = Temperature dinding (°C, °K)

T_∞ = Temperature sekeliling (°C, °K)

(Sumber: Holman, J.P., 1986)

Sementara panas yang dipindahkan selalu memiliki tanda positif (+), tanda minus (-) memenuhi hukum ke-II termodinamika. Tahanan panas terhadap konveksi digambarkan dalam persamaan (2.4). Koefisien perpindahan panas permukaan (h), yang merupakan simbol untuk koefisien perpindahan panas, menunjukkan laju perpindahan panas yang terjadi di daerah dekat permukaan daripada merupakan sifat intrinsik suatu zat. Konveksi paksa adalah proses yang umum karena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan dan pendinginan antara dua fluida

c. Perpindahan panas secara radiasi

proses di mana panas mengalir dari benda yang sangat panas ke benda yang lebih dingin, bahkan jika ada ruang hampa di antara mereka. Karena suhu suatu benda, energi radiasi dikeluarkannya dalam bentuk gelombang elektromagnetik saat benda itu bergerak melalui ruang antara. Sebagian radiasi dipantulkan, diserap, dan diteruskan, sementara sejumlah besar energi radiasi diteruskan.:

$$Q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

Q = Laju perpindahan panas (Kj/det atau W)

σ = Konstanta Boltzman ($5,669.10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

A = Luas penampang (m^2)

T = Temperature Absolute benda ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.1 Perpindahan Panas karena Aliran Fluida di Dalam Pipa (h_i)

Perpindahan panas yang disebabkan oleh aliran fluida di dalam pipa adalah aliran internal di mana lapisan perbatasan tidak dapat berkembang karena dibatasi oleh lapisan luar, dengan persamaan berikut :

$$h_i = \frac{Nu_D \times k_f}{d_i} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

h_i = Koefisien konveksi didalam tube ($\text{W/m}^2 \text{ K}$)

- N_{uD} = Nusselt number
 k = Konduktifitas thermal (W / m.K)
 D = Diameter luar tube (m)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Aliran yang terjadi di dalam tube memiliki 2 jenis aliran, yaitu:

a. Aliran Laminer

Aliran laminer terjadi apabila nilai dari bilangan tidak berdimensi *Reynolds* kurang dari sama dengan 2300. Perpindahan kalor di aliran ini dapat ditinjau dari nilai *heat flux* dan temperatur permukaan konstan.

b. Aliran turbulen

Nilai Reynold meningkat menjadi 2300, menyebabkan aliran turbulen. Persamaan Dittus-Boelter dapat digunakan pada aliran ini untuk menghitung bilangan nusselt yang tidak berdimensi. Salah satu faktor yang dipertimbangkan adalah jenis perpindahan panas. Untuk bilangan tak berdimensi, nilai nusselt dapat diperoleh dari persamaan berikut.:

$$N_{uD} = 0.023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^n \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

Re_D = bilangan tak berdimensi *Reynold number*

N_{uD} = bilangan tak berdimensi *Nusselt number*

Pr = bilangan tak berdimensi *prandtl number*

n = 0.4 untuk proses heating ($T_s > T_m$) dan 0.3 untuk proses cooling ($T_s < T_m$)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Untuk membedakan 2 jenis aliran tersebut dapat menggunakan batasan dengan rumus Reynolds number sebagai berikut:

$$Re_D = \frac{\rho \cdot v_{max} \cdot D}{\mu} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

Re_D = *Reynold number*

ρ = Massa jenis (kg/m³)

v_{max} = Kecepatan maksimum aliran (m/s)

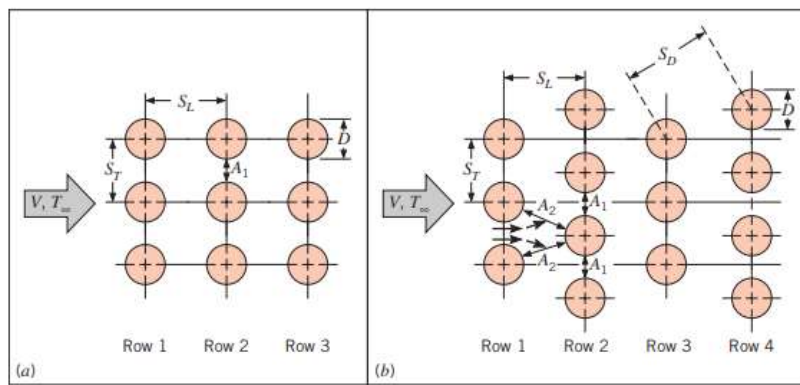
d = Diameter tube pipa (m)

μ = Viskositas (N.s/m²)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.2 Perpindahan Panas karena Aliran Fluida di Luar Pipa (h_o)

Mekanisme perpindahan panas secara konveksi digunakan untuk melihat perpindahan panas atau kalor yang terjadi karena aliran di luar pipa alat penukar kalor. Proses ini dilakukan dengan menyusun pipa pada bagian shell dan pipa alat penukar kalor. Besar koefisien perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh tingkat turbulensi aliran dan jumlah baris pipa yang dilalui fluida. Pola penyusunan pipa dapat diubah untuk meningkatkan tingkat turbulensi ini. Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3, dua jenis pola susunan pipa adalah staggered (berselang-seling) dan



Gambar 2. 3 Susunan dan pola tube (a) *aligned*. (b) *staggered*
(sumber: Frank P. Incopera & David P. Dewwit, 2011)

aligned (sejajar). Desain berliku-liku kondensor PLTGU Priok menghasilkan koefisien perpindahan kalor yang lebih tinggi. Hal ini meningkatkan perpindahan panas karena fluida dapat bersentuhan lebih dekat dengan permukaan tube.

setelah mendapatkan nilai dari *Nusselt number*, maka dihitung perpindahan panas konveksi di luar tube dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$h_o = \frac{N_{uD} \times k}{D} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan:

h_o = Koefisien konveksi diluar tube ($W/m^2 K$)

N_{uD} = bilangan tidak berdimensi Nusselt number

K = Konduktifitas thermal ($W / m.K$)

D = Diameter luar tube (m)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.3 Koefisien Perpindahan Panas pada Zona Kondensasi

Daerah kondensasi merupakan area dalam kondensor tempat terjadinya perubahan fase fluida dari uap jenuh menjadi cair jenuh. Proses perpindahan kalor di zona ini dapat dianalisa dengan lapisan cairan yang mengembun pada permukaan tube secara radial, khususnya pada tube yang diposisikan horizontal. Kondensasi terjadi saat uap *saturated* bersentuhan dengan permukaan yang memiliki Temperatur lebih rendah. Uap yang masuk ke kondensor setelah mengalami ekspansi melalui turbin tekanan rendah (*LP turbine*) berada dalam kondisi jenuh, dan selanjutnya dikondensasikan hingga berubah menjadi cairan jenuh (*saturated liquid*). Cairan hasil kondensasi ini akan menempel pada permukaan tube dan kemudian jatuh akibat gaya gravitasi atau terbawa oleh aliran uap.

Jenis kondensasi biasanya adalah kondensasi film, yaitu terbentuknya lapisan tipis cairan di sepanjang permukaan. Dalam proses ini, uap melepaskan kalor tanpa mengalami perubahan Temperatur, karena energi dilepaskan dalam bentuk kalor laten akibat perubahan fase. Sebaliknya, air pendingin yang menerima kalor akan mengalami kenaikan Temperatur, namun tidak mengalami perubahan fase (Frank P. Incopera & David P. Dewwit, 2011).

Kondensasi yang terjadi didalam kondensor ada dua jenis, yaitu :

a. Film condensation

Pada kondensasi jenis ini, kondensasi berbentuk tipis menyelimuti dinding pipa, yang secara bertahap akan menjadi lebih tebal. Gaya berat dan gaya gravitasi menyebabkan lapisan kondensasi tipis jatuh ke bawah, mengarah pada pembentukan air kondensat.

b. Dropwise Condensation

Karena gaya gravitasi, uap berubah menjadi tetesan embun yang terus-menerus menetes selama proses kondensasi dropwise. Kondensasi semacam ini biasanya hanya terjadi pada permukaan pipa kondensor dengan lapisan tipis. Karena dinding pipa tidak tertutup sepenuhnya oleh lapisan embun dalam proses ini, uap dapat bersentuhan langsung dan terus-menerus dengan permukaan pendingin. Koefisien perpindahan panas meningkat dalam kondisi ini. Namun, dalam praktiknya, proses kondensasi yang terjadi hampir selalu berupa film condensation, karena jenis kondensasi ini hanya dapat berubah menjadi dropwise jika permukaan benar-benar halus dan tidak

mudah ditemplei air. Oleh karenanya dalam perhitungan koefisien perpindahan panas di zona kondensasi, yang digunakan adalah pendekatan film condensation menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Nu_D = \frac{h_0 D_0}{k_f} = C \left[\frac{g \times \rho_f \times (\rho_f - \rho_g) \times h'_{fg} \times D_0^3}{\mu_f \times k_f \times (T_{sat} - T_s)} \right]^{\frac{1}{4}} \dots\dots\dots(2.10)$$

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Untuk menggunakan persamaan diatas, semua nilai liquid properties didapatkan dari *temperature film* (T_f) = $\frac{T_{sat} + T_s}{2}$, sedangkan kalor laten penguapan (h_{fg}) dan massa jenis vapor (ρ) didapat dari T_{sat} . Untuk tube yang disusun bertingkat-tingkat secara horizontal tanpa sirip-sirip dengan banyak tube (N), maka koefisien reratanya dapat menggunakan rumus berikut :

$$h_0 N = h_0 \times N^n \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

$h_0 N$ = koefisien konveksi rerata secara horizontal kebawah ($W/m^2 \cdot K$)

h_0 = koefisien konveksi aliran diluar tube ($W/m^2 \cdot K$)

N = Jumlah Tube kondensor

n = nilai empiris ketebalan lapisan *film* dari *tube*

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Nilai kalor laten penguapan (h'_{fg}) didapat menggunakan persamaan bilangan tidak berdimensi *Jacob Number* (Ja), yaitu :

$$Ja = \frac{C_{p,f} \times (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$h'_{fg} = h_{fg} \times (1 + 0.68 \times ja) \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

Ja = Bilangan tidak berdimensi *Jacob number*

$C_{(p,f)}$ = Nilai Panas Spesifik ($Kj/Kg \cdot K$)

T_{sat} = Temperatur saturasi ($^{\circ}C$)

T_s = temperture permukaan ($^{\circ}C$)

$h'_{(f,g)}$ = Kalor laten penguapan (Kj/Kg)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.4 Persamaan Temperature dinding Tube

Untuk menghitung nilai suhu dinding pipa, gunakan metode pengulangan atau iterasi. Masalah ini dapat diselesaikan dengan solver di Microsoft Excel. Namun, koefisien konveksi perpindahan panas secara kondensasi dan paksa (force convection) diketahui dari suhu dinding atau permukaan (T_s). Selanjutnya, nilai suhu dinding pipa dengan mengambil suhu dinding pipa dan membandingkannya dengan hasil perhitungan. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa ada penyimpangan yang signifikan. Temperatur di seluruh pipa dianggap sama dengan temperatur di luar dinding pipa, atau T_{sat} , karena tidak ada perbedaan suhu antara pipa yang bertemu secara bersilangan $T_c - T$. Di bawah ini adalah rumus 2.14, yang menunjukkan persamaan

$$q'' = \frac{\Delta t}{\sum R} = \frac{T_{sat} - T_c}{R_o - R_i} = \frac{T_s - T_c}{R_i} = \frac{T_s - T_c}{\frac{1}{h_i d_o}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Oleh karenanya temperature dinding *tube* bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$T_s = T_{mean} + \frac{h_o}{h_i \frac{d_i}{d_o} + h_o} \times (T_{sat} - T_{mean}) \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

- T_s = temperature permukaan (°K atau °C)
- T_{mean} = temperatur rata-rata (°C)
- T_{sat} = saturation temperature (°C)
- h_o = koefisien konveksi aliran diluar tube (W/m².K)
- h_i = koefisien konveksi aliran didalam tube (W/m².K)
- d_i = diameter dalam pipa / tube (m)
- d_o = diameter luar pipa / tube (m)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.5 Fouling Factor

Fouling dapat didefinisikan sebagai penjumlahan total dari substansi yang tidak diinginkan pada permukaan. *Fouling* dapat secara langsung dan signifikan mempengaruhi keseluruhan desain dari alat penukar kalor, *fouling* menurunkan ke efektifitasan dari alat penukar kalor dengan cara menurunkan nilai *heat transfer* dan menyebabkan *pressure drop*. (Kakac *et al.*, 2012). Besarnya nilai *fouling factor* dapat ditinjau pada Table 2.2 ini:

Tabel 2. 2 Fouling Factors

Fluid	R'' ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)
Seawater and treated boiler feedwater (below 50°C)	0.0001
Seawater and treated boiler feedwater (above 50°C)	0.0002
River water (below 50°C)	0.0002–0.001
Fuel oil	0.0009
Refrigerating liquids	0.0002
Steam (nonoil bearing)	0.0001

2.3.6 Overall Koefisien Perpindahan Panas (U)

Bagian penting dari sebuah analisa penukar panas adalah penentuan koefisien, penentuan koefisien ini sering kali tidak pasti. Koefisien ini didefinisikan dalam resistansi panas keseluruhan pada perpindahan panas kalor antara dua fluida. Koefisien dihitung dengan mengkalkulasikan resistensi konduksi dan konveksi antara dua fluida yang dipisahkan oleh sebuah bidang, dinding-dinding silinder (Frank P. Incopera & David P. Dewwit, 2011).

Koefisien perpindahan panas keseluruhan menggambarkan total tahanan termal yang terjadi antara dua fluida panas dan fluida dingin selama proses perpindahan kalor berlangsung. Perhitungan ini juga mempertimbangkan adanya fouling factor atau faktor kerak yang dapat terbentuk setelah alat penukar panas digunakan dalam jangka waktu tertentu. Koefisien perpindahan panas keseluruhan diperoleh dengan melakukan penjumlahan terhadap tahanan termal yang berasal dari proses konduksi dan konveksi antara kedua fluida yang dipisahkan oleh dinding berbentuk silinder. Persamaan menghitung koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah sebagai berikut :

$$R_{tot} = \frac{1}{U.A} \dots \dots \dots (2.16)$$

Keterangan:

R_{tot} = Resistance total

U = Koefisien perpindahan panas total (W /m.K)
A = luasan bidang permukaan perpindahan panas (m²)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

Persamaan berikut menunjukkan bahwa tahanan termal terdiri dari tahanan konveksi aliran di dalam silinder, tahanan konduksi pada material silinder, dan tahanan konveksi aliran di luar silinder :

$$\frac{1}{U.A} = \frac{1}{h_i.A_i} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o.A_o} + \left[\frac{R''_{f,i}}{A_i} + \frac{R''_{f,o}}{A_o} \right] fouling\ factor.....(2.17)$$

Dari persamaan 2.17 diatas maka kita dapat menentukan persamaan koefisien perpindahan panas total, yaitu sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + R''_{f,o} + \frac{r_o}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{r_o}{r_i} R''_{f,i} + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \frac{1}{h_i}}(2.18)$$

Keterangan:

r_o = jari-jari luar tube (m)
r_i = jari-jari dalam tube (m)
R''_{f,o} = Fouling factor di luar tube (m² . K/W)
R''_{f,i} = Fouling factor di dalam tube (m² . K/W)

(Sumber: Incropera et al., 2011)

2.3.7 Cleanliness Factor

Faktor kebersihan adalah nilai perbandingan antara penyaluran panas aktual dan penyaluran panas kondisi 100 persen bersih, seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.19 di bawah ini.

$$CF = \frac{U_f}{U_c}(2.19)$$

Keterangan:

CF = Cleanliness Factor
U_f = koefisien overall heat transfer dengan fouling
U_c = koefisien overall heat transfer tanpa fouling

(Sumber: Holman, J.P.1986)

2.4 Long Short Term Memory

Salah satu jenis Recurrent Neural Network (RNN) adalah Algoritma Memori Pendek Lama (LSTM), yang dibuat dengan modifikasi untuk mengatasi masalah yang muncul dengan RNN saat memproses data berurutan yang panjang. Metode LSTM, yang diperkenalkan oleh Hochreiter dan Schmidhuber pada tahun 1997, telah menjadi salah satu alat penting dalam analisis data berurutan atau forecasting, termasuk teks, sinyal waktu, dan sinyal audio. Kemampuan LSTM untuk menangkap keteangan jangka panjang dalam data berurutan membuat metode ini ideal untuk tugas-tugas seperti pengenalan ucapan, terjemahan bahasa, dan peramalan deret waktu. Berikut adalah beberapa konsep kunci dalam LSTM:

1. *Gates* (Pintu) adalah LSTM memiliki tiga jenis pintu yang mengatur aliran informasi masuk dan keluar dari sel memori. Pintu-pintu ini meliputi:
 - a. *Output gate*: Mengontrol informasi yang keluar dari sel memori.
 - b. *Input gate*: Mengontrol informasi yang ditambahkan ke sel memori.
 - c. *Forget gate*: Mengontrol informasi yang dihapus dari sel memori.
2. *Cell State* (Sel Memori) adalah komponen utama dalam metode LSTM yang menyimpan informasi jangka panjang dari waktu ke waktu.
3. *Hidden State* adalah output dari sel LSTM pada suatu waktu tertentu dan berfungsi sebagai input untuk data-data selanjutnya.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode LSTM memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan metode Naïve Bayes (Nurrohmat & SN, 2019). LSTM memiliki kelebihan dari pada metode lainnya seperti mampu menangkap pola temporal jangka panjang dan cocok untuk data yang memiliki fluktuasi tajam dan tidak teratur (Brykin, 2024). akan tetapi penggunaan LSTM juga memiliki tantangan yaitu : memerlukan sumber daya komputasi yang tinggi, memerlukan kalibrasi hiperparameter yang presisi untuk mencapai kinerja optimal, dan sensitif terhadap variasi dalam pengaturan awal dan data.

2.5 Persiapan Dataset dan Pengolahan menggunakan Python

Pemrograman menggunakan Bahasa Python mulai berkembang sejak tahun 1980-an, dibandingkan dengan Bahasa pemrograman yang lain seperti C, C++, python merupakan Bahasa yang lebih sederhana akan tetapi memiliki kemampuan sintak yang lebih baik. Bahasa python lebih mudah diakses bagi seluruh penggunanya (Parhusip, 2019)

Pemrograman berbasis Python bersifat open source, sehingga siapa pun dapat mengembangkannya secara bebas. Python adalah salah satu jenis bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dibuat untuk membuat pemrograman berorientasi objek lebih mudah digunakan. Python mendukung banyak aplikasi data science, menjadikannya salah satu bahasa pemrograman terbaik untuk ilmuwan data. Selain itu, Python sangat kuat dalam perhitungan matematika, statistika, dan fungsi ilmiah lainnya. Bagi mereka yang tidak terbiasa dengan teknik ini, bahasa pemrograman komputer Python mudah digunakan. (Geeks for Geeks, 2025)

Dalam melakukan analisis menggunakan bahasa pemrograman python perlu disiapkan dataset untuk nantinya bisa dilakukan analisis. *Dataset* tersebut harus matang dan siap dengan dilakukan persiapan dengan metode berikut:

1. Pengumpulan Data (*Data Colecting*)

Pengumpulan data adalah proses pengumpulan, pengukuran, dan analisis berbagai jenis data menggunakan teknik standar. Tujuan utama pengumpulan data adalah untuk mengumpulkan sebanyak mungkin informasi dan data yang dapat diandalkan, yang kemudian dianalisis untuk membuat analisis. Setelah pengumpulan data, proses pembersihan dan pemrosesan dimulai, yang memungkinkan data untuk digunakan dalam analisis.

2. *Data Cleaning*

Ketika datang ke preprocessing data, tahap pertama adalah membersihkan data. Ini berarti menyeleksi kembali data mentah. Kemudian, hapus atau hapus data yang tidak akurat dan tidak lengkap. Dengan melakukan tahap ini, diharapkan dapat mencegah kesalahpahaman dalam analisis data.

Ketika melakukan perbaikan data, dua hal penting harus diperhatikan. Pertama, harus memastikan bahwa data yang dikumpulkan tidak lagi mengandung nilai yang tidak ada (NaN), dan kedua, harus memastikan bahwa data sepenuhnya diperlukan selama proses analisis data.

3. *Data Transformation*

Transformasi data adalah langkah berikutnya yang harus dilakukan. Data akan diambil dari berbagai sumber, yang mungkin memiliki format yang berbeda, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Supaya lebih mudah untuk menganalisis, semua data harus disamakan. Sebagai contoh, sumber pertama yang mengumpulkan data karyawan menggunakan format DD/MM/YYsYY, dan sumber berikutnya menggunakan format MM/DD/YYYY. Kedua sumber harus diubah dan diseragamkan dalam format yang sama saat mengumpulkan data..



