

## **BAB II**

### **PRATINJAU PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Relevan**

Sebagai pendukung pengerjaan penelitian tugas akhir ini penulis mencantumkan referensi diantaranya:

**1. Analisis Pengaruh Tekanan dan Temperatur Udara Terhadap Kinerja Turbin Gas pada Sistem PLTGU PT. Consolidated Electric Power Asia** (Buana et al., 2019).

Penelitian ini mengevaluasi pengaruh tekanan dan temperatur udara hasil kompresi terhadap performa turbin gas GT12 Blok I di PT. Energi Sengkang. Parameter utama yang dianalisis adalah daya keluaran turbin dan efisiensi turbin berdasarkan data operasi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan atau penurunan tekanan dan temperatur udara setelah kompresi tidak memberikan pengaruh signifikan secara linear terhadap daya keluaran serta efisiensi turbin. Daya hasil pembangkitan terendah dicatat sebesar 21,94 MW pada tekanan 9,94 bar, sedangkan daya tertinggi 46,106 MW terjadi pada tekanan 14,36 bar. Efisiensi turbin juga tercatat bervariasi dari 46,75% hingga 77,68%. Studi ini menegaskan bahwa faktor operasional lain yang berkaitan dengan sistem pendinginan tetap diperlukan untuk menjaga stabilitas kinerja pembangkit.

**2. Penelitian Analisis Perbandingan Kinerja *Fin Fan Cooler* Unit GT1A dan GT1B Dalam Mendinginkan Air Pendingin Generator Turbin Gas PT. Bekasi Power** (Mahira et al., 2023).

Penelitian ini menganalisis perbandingan kinerja dua unit *Fin Fan Cooler* pada PLTGU PT. Bekasi Power. Hasilnya menunjukkan bahwa unit GT1A memiliki efektivitas pendinginan lebih tinggi (35%–55%) dibandingkan GT1B (23%–39%). Kedua unit mengalami penurunan kinerja akibat faktor udara sekitar, temperatur inlet, dan laju aliran air. Penelitian ini menegaskan bahwa performa pendinginan sangat memengaruhi efisiensi kerja generator turbin gas.

3. **Penelitian Unjuk Kerja Sistem Pendingin Radiator Turbin Gas pada PLTGU XYZ Terhadap Temperatur Udara Lingkungan** (Ketut Caturwati et al., 2020)

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh temperatur udara lingkungan terhadap kinerja radiator turbin gas pada sistem pendingin air (ACWS) di PLTGU PT PJB UP Muara Karang Blok 1. Data operasi tahun 2017 dibandingkan dengan data terbaru tahun 2019 untuk mengetahui perubahan efektivitas penukar kalor. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur udara lingkungan, efektivitas radiator cenderung meningkat. Nilai efektivitas tertinggi pada tahun 2017 sebesar 71,274% dan pada tahun 2019 sebesar 58,859% pada temperatur udara 35°C. Dari perbandingan kedua tahun tersebut, terjadi penurunan efektivitas sebesar 12,145%, yang menunjukkan perlunya perawatan dan pemeliharaan pada sistem pendingin radiator agar mempertahankan performa optimal.

4. **Analisis Pengaruh Temperatur Ambient dan variasi Beban terhadap Efektifitas *Closed Cooling Water Fan* Pada PLTGU Muara Tawar** (Samuel et al., n.d.).

Penelitian ini mengkaji pengaruh perubahan temperatur udara masuk ( $T_{ci}$ ) dan variasi beban turbin gas terhadap efektivitas *Closed Cooling Water Fan* pada PLTGU Muara Karang Blok 2. Data operasional diolah menggunakan Excel dan perangkat lunak DWSIM untuk mendapatkan parameter laju perpindahan panas ( $q$ ), NTU, LMTD, hingga efektivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur ambient dari 26°C hingga 32°C menyebabkan penurunan efektivitas cooling fan akibat berkurangnya perbedaan temperatur antara udara pendingin dan fluida panas. Efektivitas tertinggi tercatat sebesar 98,74% pada  $T_{ci}$  31°C dengan beban 127 MW, sedangkan nilai efektivitas terendah mencapai 91,70% pada  $T_{ci}$  32°C dengan beban 221 MW, menandakan adanya keterbatasan perpindahan panas pada suhu lingkungan tinggi. Variasi beban juga memberikan pengaruh signifikan: pada  $T_{ci}$  rendah, kenaikan beban meningkatkan efektivitas, namun pada  $T_{ci}$  tinggi peningkatan beban justru menurunkan efektivitas secara drastis. Studi ini menegaskan bahwa temperatur ambient dan beban operasi merupakan parameter penting yang sangat mempengaruhi performa sistem pendinginan, serta perlu dikendalikan untuk menjaga stabilitas operasi pembangkit.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan sistem pembangkitan listrik yang memanfaatkan kombinasi turbin gas dan turbin uap untuk meningkatkan efisiensi dan menekan emisi lingkungan. Pada prosesnya, turbin gas menghasilkan gas buang bersuhu tinggi yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap pada boiler, sehingga dapat menggerakkan turbin uap tanpa memerlukan tambahan bahan bakar. Teknologi ini dinilai lebih hemat energi karena memaksimalkan kembali panas sisa dari turbin gas. Di Amerika Serikat, penggunaan PLTGU semakin berkembang seiring meningkatnya efisiensi turbin gas modern dan harga gas alam yang lebih kompetitif dibandingkan sumber energi lain seperti batubara. Bahkan, penelitian menunjukkan bahwa efisiensi turbin gas yang awalnya hanya sekitar 28–33% dapat ditingkatkan hingga mencapai 60% dengan memanfaatkan panas buang untuk proses pembangkitan uap (Chandra Asri Group, 2025).

### 2.2.1. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

PLTGU merupakan pembangkit listrik yang menggabungkan dua siklus dalam satu sistem, yaitu siklus turbin gas (Brayton) dan siklus turbin uap (Rankine), sehingga disebut sebagai pembangkit dengan siklus kombinasi atau *Combined Cycle* (Ridwan & Wibisono, 2024). Gas buang bersuhu tinggi dari turbin gas yang dapat mencapai sekitar 2600°F dimanfaatkan oleh Heat Recovery Steam Generator (HRSG) untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap, sehingga proses pembangkitan listrik menjadi lebih efisien dibandingkan dengan PLTG maupun PLTU (Chandra Asri Group, 2025). Siklus Brayton merupakan siklus termodinamika yang digunakan pada turbin gas (*Gas Turbine Power Plant*), di mana udara dikompresi secara isentropik di dalam kompresor, kemudian mengalami proses pembakaran isobarik di ruang bakar yang menghasilkan gas panas bertekanan tinggi untuk memutar turbin. Sebagian energi mekanik yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan kompresor, sementara sisanya digunakan untuk menghasilkan listrik melalui generator. Gas buang dari turbin masih memiliki temperatur tinggi, sekitar 500°C, sehingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber panas sekunder (Ridwan & Wibisono, 2024). Adapun siklus Rankine merupakan siklus termodinamika yang digunakan pada turbin uap (*Steam Power Plant*), di mana air dipanaskan di dalam *boiler* hingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin dan menghasilkan energi mekanik. Setelah melalui turbin, uap dikondensasikan

kembali menjadi air di kondensor, kemudian dipompa kembali ke *boiler* untuk diulang pada siklus berikutnya. Oleh karena itu, penerapan siklus kombinasi dinilai mampu meningkatkan efisiensi energi secara menyeluruh serta mengoptimalkan penggunaan bahan bakar pada sistem pembangkit listrik modern.

## **2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) merupakan sistem pembangkit yang bekerja berdasarkan siklus termodinamika Brayton, di mana udara dikompresi di dalam kompresor, kemudian dicampur dengan bahan bakar dan dibakar pada tekanan konstan di ruang bakar sehingga menghasilkan gas panas bertekanan tinggi yang diekspansikan di turbin untuk menggerakkan generator Listrik, meskipun PLTG memiliki keunggulan berupa waktu *start-up* yang cepat dan konstruksi yang relatif sederhana, efisiensi termalnya masih rendah, yaitu sekitar 20–30%, karena sebagian besar energi panas masih terbuang melalui gas buang yang mencapai suhu hingga 459°C, sehingga pemanfaatan panas buang melalui penerapan sistem siklus kombinasi atau *combined cycle* menjadi solusi efektif dalam peningkatan efisiensi termal mencapai lebih dari 50% (Gusnita & Saputra Said, 2017a).

### **2.3.1 Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) didasarkan pada siklus termodinamika Brayton, yaitu suatu proses konversi energi di mana energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi mekanik, kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Udara dari lingkungan pertama-tama disedot dan dikompresi oleh kompresor aksial hingga mencapai tekanan tinggi. Proses kompresi ini bersifat isentropik, artinya terjadi tanpa pertukaran panas dengan lingkungan. Udara bertekanan tinggi tersebut kemudian dialirkan ke ruang bakar (*combustion chamber*) untuk dicampur dengan bahan bakar, umumnya gas alam, dan dibakar pada tekanan konstan. Hasil pembakaran menghasilkan gas panas bertekanan tinggi dengan suhu yang dapat mencapai lebih dari 1000°C. Gas hasil pembakaran ini kemudian diarahkan ke turbin gas, di mana terjadi proses ekspansi isentropik, yaitu gas panas mengembang dan mendorong sudu-sudu turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros turbin. Sebagian energi mekanik tersebut digunakan untuk menggerakkan kompresor, sementara sisanya digunakan untuk

memutar generator listrik yang menghasilkan energi listrik. Gas buang yang keluar dari turbin masih memiliki temperatur tinggi, berkisar antara 400–500°C, sehingga berpotensi besar untuk dimanfaatkan kembali sebagai sumber panas sekunder. (Gusnita & Saputra Said, 2017). Dalam sistem PLTG konvensional, gas buang ini biasanya dilepaskan ke atmosfer sehingga efisiensi termal pembangkit relatif rendah, hanya berkisar antara 20–30%. Namun, menurut hasil penelitian (Gusnita & Saputra Said, 2017), panas gas buang tersebut dapat dimanfaatkan melalui penerapan sistem siklus kombinasi (*combined cycle*) dengan menambahkan *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) untuk memanaskan air menjadi uap yang dapat menggerakkan turbin uap tambahan. Melalui cara ini, efisiensi termal pembangkit dapat meningkat secara signifikan hingga mencapai lebih dari 50%, sehingga sistem PLTG menjadi lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam mendukung penyediaan energi listrik secara berkelanjutan (Gusnita & Saputra Said, 2017).

### **2.3.2 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)**

Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) terdiri atas beberapa komponen utama yang berperan penting dalam proses konversi energi dari bahan bakar menjadi energi listrik. Komponen-komponen tersebut saling berhubungan dalam satu sistem siklus termodinamika Brayton, yang meliputi kompresor, ruang bakar, turbin gas, dan generator listrik (Gusnita & Saputra Said, 2017).

#### **1. Kompresor**

Kompresor berfungsi untuk menghisap udara dari lingkungan dan menekannya hingga mencapai tekanan tinggi sebelum dialirkan ke ruang bakar. Proses ini meningkatkan densitas udara dan memungkinkan terjadinya pembakaran yang lebih efisien. Kompresor biasanya berjenis aksial atau sentrifugal, dengan tingkat kompresi yang bervariasi tergantung kapasitas turbin. Proses kompresi ini bersifat isentropik, artinya berlangsung tanpa pertukaran panas dengan lingkungan, dan memerlukan energi mekanik dari turbin untuk berputar.

#### **2. Ruang Bakar**

Udara bertekanan tinggi dari kompresor dialirkan ke ruang bakar, di mana bahan bakar umumnya gas alam atau solar disuntikkan dan dibakar pada tekanan konstan (*isobaric process*). Hasil dari pembakaran ini berupa campuran gas panas bertekanan tinggi yang memiliki energi termal besar. Temperatur gas hasil pembakaran dapat

mencapai 1.000–1.200°C, tergantung desain dan efisiensi sistem pembakaran. Proses ini merupakan tahap utama dalam menghasilkan energi panas yang akan dikonversi menjadi energi mekanik di turbin gas.

### 3. Turbin Gas

Gas panas hasil pembakaran mengalir ke turbin gas, di mana terjadi proses ekspansi isentropik. Pada tahap ini, energi termal dari gas diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Sebagian energi mekanik yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan kompresor, sedangkan sisanya dimanfaatkan untuk memutar generator listrik. Turbin gas biasanya terdiri dari beberapa tingkat sudu tetap dan bergerak untuk mengoptimalkan efisiensi konversi energi.

### 4. Generator

Poros turbin gas dihubungkan langsung dengan generator sinkron, yang berfungsi mengubah energi mekanik putaran menjadi energi listrik melalui proses induksi elektromagnetik. Generator ini menghasilkan arus listrik bolak-balik (*alternating current* – AC) dengan frekuensi yang disesuaikan dengan sistem jaringan listrik nasional.

Selain keempat komponen utama tersebut, PLTG juga dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis, sistem pelumasan, sistem pendingin, dan sistem pembuangan gas buang untuk menjaga kestabilan operasi dan keamanan pembangkit. Gas buang yang keluar dari turbin masih memiliki temperatur tinggi, yaitu sekitar 400–500°C, sehingga dapat dimanfaatkan lebih lanjut dalam sistem *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) jika PLTG dioperasikan sebagai bagian dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) (Gusnita & Saputra Said, 2017a).

## 2.4 *Heat Exchanger*

Penukar panas (*Heat Exchanger*) merupakan alat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas antara dua fluida atau lebih yang memiliki perbedaan suhu, baik dalam bentuk cair, uap, maupun gas. Berdasarkan sistem yang digunakan, proses perpindahan panas dapat terjadi antara gas dengan gas, cair dengan gas, maupun cair dengan cair melalui dinding pemisah padat yang mencegah terjadinya pencampuran langsung antar fluida (KOALISI TURBINDO, 2022). Salah

satu jenis *Heat Exchanger* yang paling umum digunakan di industri adalah tipe *shell and tube* karena memiliki desain yang sederhana, kokoh, mudah dalam perawatan, serta efisien secara ekonomi. Pada jenis ini, fluida panas mengalir di dalam pipa (*tube*), sedangkan fluida dingin bergerak di sekitar pipa di dalam ruang *shell*. Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara kedua fluida yang dipisahkan oleh dinding pipa tersebut (Husen et al., n.d.).

## 2.5 *Jenis Exchanger*

Setiap jenis *Heat Exchanger* memiliki karakteristik serta keunggulan tersendiri, sehingga pemilihan jenis yang tepat menjadi faktor penting agar dapat menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi penggunaannya. Jenis-jenis alat *Heat Exchanger* terdiri dari beberapa tipe yang disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan penggunaannya. Setiap tipe memiliki karakteristik serta cara kerja yang berbeda. Secara umum, *Heat Exchanger* dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain *Shell & Tube Heat Exchanger*, *Plate Heat Exchanger*, *Double Pipe Heat Exchanger*, *Spiral Heat Exchanger*, *Air Cooled Heat Exchanger*. Masing-masing tipe tersebut dirancang dengan prinsip kerja berbeda untuk mengoptimalkan proses perpindahan panas sesuai dengan kondisi operasional dan jenis fluida yang digunakan (PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023).

### 1. *Shell and tube Heat Exchanger*

*Shell and tube Heat Exchanger* merupakan jenis penukar panas yang paling banyak diaplikasikan. Alat ini terdiri atas sejumlah pipa berukuran kecil yang ditempatkan di dalam sebuah selongsong (*shell*). Salah satu fluida mengalir di dalam pipa-pipa tersebut, sedangkan fluida lainnya bergerak mengelilingi bagian luar pipa di dalam *shell*. Umumnya, fluida panas dialirkan melalui tabung berukuran lebih besar, sementara fluida yang lebih dingin mengalir melalui tabung yang berukuran lebih kecil.



*Gambar 2. 1 Shell and tube Heat Exchanger*  
(PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023)

## 2. *Plate Heat Exchanger*

*Plate Heat Exchanger* memanfaatkan pelat-pelat logam sebagai media utama untuk proses perpindahan panas. Pelat-pelat tersebut disusun sedemikian rupa sehingga membentuk saluran-saluran sempit bagi aliran fluida, yang memungkinkan luas permukaan kontak menjadi lebih besar dan meningkatkan efisiensi pertukaran panas. Jenis penukar panas ini dikenal memiliki kinerja tinggi dan banyak digunakan pada industri makanan, minuman, serta sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*).



*Gambar 2. 2 Plate Heat Exchanger*  
(PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023)

## 3. *Double pipe Heat Exchanger*

*Double pipe Heat Exchanger* merupakan jenis penukar panas dengan desain yang paling sederhana, terdiri dari dua pipa yang tersusun secara konsentris atau paralel. Salah satu pipa digunakan sebagai saluran untuk fluida panas, sementara pipa lainnya berfungsi sebagai jalur bagi fluida dingin. Jenis ini umumnya diterapkan pada sistem yang



membutuhkan kapasitas pertukaran panas relatif kecil atau proses dengan laju perpindahan panas yang rendah.



*Gambar 2. 3 Double pipe Heat Exchanger*  
(PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023)

#### 4. *Spiral Heat Exchanger*

*Spiral Heat Exchanger* merupakan jenis penukar panas yang memiliki konfigurasi berbentuk spiral yang dililit secara berulang, menciptakan dua saluran aliran terpisah, masing-masing untuk fluida panas dan fluida dingin. Desain spiral ini memberikan distribusi aliran yang lebih merata serta meningkatkan efisiensi perpindahan panas melalui kontak permukaan yang luas. Berkat karakteristik tersebut, *spiral Heat Exchanger* banyak digunakan dalam proses-proses industri, khususnya pada sektor kimia, untuk keperluan pemanasan maupun pendinginan yang melibatkan perbedaan temperatur yang signifikan.



*Gambar 2. 4 Spiral Heat Exchanger*  
(PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023)

### 5. *Air cooled Heat Exchanger*

*Air cooled Heat Exchanger* merupakan jenis penukar panas yang menggunakan udara sebagai media pendingin untuk menurunkan temperatur fluida panas. Sistem ini umumnya dilengkapi dengan kipas (*fan*) yang berfungsi mengalirkan udara melewati permukaan pipa sehingga proses perpindahan panas dapat berlangsung secara efektif. Pemeliharaan dan perawatan kipas secara berkala sangat penting dilakukan untuk menjaga kinerja sistem tetap optimal serta memastikan efisiensi proses pendinginan tetap terjaga.



*Gambar 2. 5 Air cooled Heat Exchanger  
(PT. CONTROMATIC PRIMA MANDIRI, 2023)*

Dalam penelitian ini, *Air Cooled Heat Exchanger* (ACHE) digunakan sebagai komponen utama dalam proses perpindahan panas. *Air cooled Heat Exchanger* merupakan jenis penukar panas yang memanfaatkan udara sekitar sebagai media pendingin untuk menurunkan suhu fluida panas yang mengalir di dalam pipa. Aliran udara diarahkan melewati permukaan pipa dengan bantuan fan, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung secara optimal melalui mekanisme konveksi.

Pemanfaatan udara sebagai media pendingin menyebabkan ACHE tidak memerlukan penggunaan air pendingin, sehingga lebih ramah lingkungan dan sesuai untuk diaplikasikan pada wilayah dengan keterbatasan ketersediaan air. Kinerja *air cooled Heat Exchanger* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kondisi udara sekitar, laju aliran udara, serta efektivitas perpindahan panas antara air dan udara. Dengan karakteristik tersebut, ACHE dinilai layak digunakan sebagai perangkat utama dalam

penelitian ini untuk memahami performa sistem perpindahan panas berdasarkan kondisi operasi yang dianalisis.

## **2.6 Sistem Pendingin**

Sistem pendingin merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk mengalirkan dan membuang panas dari komponen atau mesin agar tetap beroperasi pada suhu yang aman dan efisien. Dalam proses kerja mesin, terutama pada pembangkit listrik, panas dihasilkan akibat gesekan, pembakaran, atau konversi energi listrik menjadi energi mekanik. Jika panas tersebut tidak dikendalikan, maka dapat menurunkan efisiensi, mempercepat keausan, bahkan menyebabkan kerusakan pada komponen sistem (Perawati et al., n.d.). Oleh karena itu, sistem pendingin berperan penting dalam menjaga kestabilan temperatur, memperpanjang umur peralatan, serta memastikan performa operasi tetap optimal.

### **2.6.1 Sistem Pendingin Terbuka**

Sistem pendingin terbuka adalah sistem yang menggunakan air pendingin secara langsung dari sumber eksternal seperti sungai, laut, atau danau. Air ini dialirkan melalui peralatan yang memerlukan pendinginan untuk menyerap panas, kemudian dibuang kembali ke lingkungan setelah suhunya meningkat. Kelebihan sistem ini adalah desainnya yang sederhana dan biaya awal instalasi yang relatif rendah. Namun, kelemahannya terletak pada kebutuhan air dalam jumlah besar dan potensi pencemaran termal akibat pembuangan air panas ke lingkungan. Selain itu, kualitas air yang digunakan perlu diperhatikan karena kandungan mineral atau kotoran dapat menyebabkan korosi dan kerak pada pipa pendingin (Perawati et al., n.d.).

### **2.6.2 Sistem Pendingin Tertutup (*Close Cooling System*)**

Sistem pendingin tertutup adalah sistem yang mensirkulasikan air pendingin secara berulang dalam rangkaian tertutup tanpa kontak langsung dengan lingkungan luar. Air pendingin menyerap panas dari komponen seperti lube oil dan udara pendingin generator, kemudian dialirkan ke *Heat Exchanger* atau cooling fan untuk menurunkan suhunya sebelum digunakan Kembali. Sistem ini lebih efisien dibandingkan sistem terbuka karena mampu menjaga suhu pendinginan yang stabil, mengurangi kehilangan air, dan mencegah kontaminasi dari luar. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), sistem pendingin

tertutup digunakan untuk menjaga temperatur kumparan generator agar tidak melebihi batas aman. Dengan suhu yang stabil, sistem ini mampu mencegah terjadinya *derating* atau penurunan daya keluaran generator (Perawati et al., n.d.).

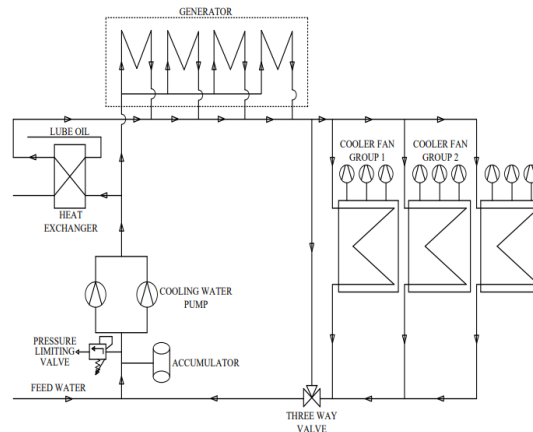
Secara keseluruhan, pemilihan sistem pendingin bergantung pada kebutuhan operasi, ketersediaan sumber air, serta efisiensi energi. Dalam praktik modern, sistem pendingin tertutup lebih banyak digunakan karena dinilai lebih ramah lingkungan, hemat air, dan mampu menjaga performa peralatan secara konsisten (Perawati et al., n.d.).

## 2.7 *Closed Cooling Water*

Sistem *Closed Cooling Water (CCW)* merupakan sistem pendingin tertutup yang berfungsi untuk menjaga kestabilan temperatur pada peralatan turbin gas, khususnya bagian generator. Sistem ini berperan penting dalam mencegah peningkatan suhu berlebih akibat proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik di dalam generator, yang menghasilkan panas akibat rugi-rugi internal. Pendinginan dilakukan dengan mengalirkan air pendingin dalam sirkulasi tertutup menggunakan *Cooling Water Pump (CWP)* sehingga panas dari peralatan dapat dipindahkan secara efisien ke udara melalui *Heat Exchanger* tanpa kehilangan media pendingin secara signifikan (Perawati et al., n.d.).

Pada sistem cooling water, digunakan dua cooling water pump (CWP) yang berfungsi untuk mensirkulasikan air pendingin ke seluruh sistem. Aliran keluaran (*discharge*) dari CWP kemudian terbagi menjadi dua jalur utama, yaitu menuju *Heat Exchanger* sebagai pendingin lube oil, serta menuju generator untuk sistem pendinginan udaranya. Proses pendinginan lube oil dilakukan melalui *Heat Exchanger* yang dirancang menggunakan pelat penukar panas dengan arah aliran air dan oli yang berlawanan (*counter flow*). Sementara itu, proses pendinginan udara pada generator dilakukan dengan mengalirkan air pendingin melalui pipa (*tube*) yang terletak di bagian bawah winding generator. Pada PLTG GT1.1 Muara Tawar, setiap unit turbin gas dilengkapi dengan 8 buah fan dalam sistem pendingin ini. Proses perpindahan panas berlangsung melalui konstruksi pipa bersirip (*finned tube*), di mana suhu air demin naik hingga sekitar 40°C setelah menyerap panas, kemudian diturunkan menjadi sekitar 35°C melalui proses pendinginan pada sistem *Closed Cooling Water Cooler Fan*. Pengoperasian sistem pendingin ini mengikuti standar tertentu, yaitu dengan menggunakan 7 fan aktif dan 1 fan cadangan (*standby*) untuk setiap unit turbin gas. Sirkulasi air demin dilakukan secara kontinu dalam sistem tertutup dengan bantuan *Gas Turbine*

*Closed Cooling Water Pump* (GT CCWP) yang beroperasi tanpa henti untuk menjaga kestabilan suhu dan kinerja sistem pendingin(COOLING WATER SYSTEM, n.d.).



Gambar 2. 6 Gas Turbin Closed Cooling Water  
(COOLING WATER SYSTEM, n.d.)

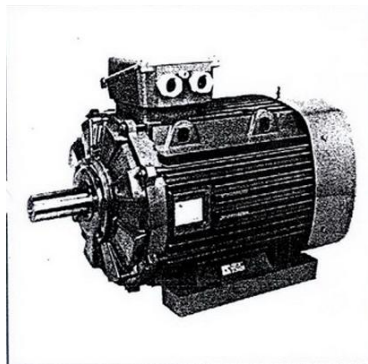
### 2.7.1 Komponen Closed Cooling Water Cooler Fan

*Close Cooling Water Cooler Fan* merupakan komponen penting pada sistem *Close Cooling Water* (CCW) yang berfungsi untuk mendinginkan air demineralisasi. Air demineralisasi ini digunakan sebagai media pendingin bagi berbagai komponen pada gas turbin, seperti *lube oil cooler* dan *generator air cooler*. Selama proses pendinginan tersebut, suhu air demineralisasi meningkat sehingga perlu diturunkan kembali agar dapat digunakan secara berulang. Proses pendinginan dilakukan oleh cooler fan, yang bekerja dengan mengalirkan udara untuk menyerap panas dari air pendingin di dalam *tube*. Udara dihembuskan oleh *fan* yang digerakkan oleh motor, sehingga panas dari fluida dapat dilepaskan ke udara sekitar dan temperatur air pendingin kembali menurun.

Komponen-komponen yang digunakan pada close cooling water cooler fan yaitu:

- a. Motor

Motor merupakan sebuah alat untuk menggerakkan sebuah kipas *Cooler Fan*.



*Gambar 2. 7 Motor*

*Tabel 2. 1 Spesifikasi Motor*

| Data teknis       |                  |
|-------------------|------------------|
| <i>Motor type</i> | FLS 225 MK 12-V5 |
| <i>Daya</i>       | 15 kW            |
| <i>Speed</i>      | 487 min-1        |
| <i>Current</i>    | 38 A             |
| <i>Phase</i>      | 380/50 V/Hz      |

*b. Fan*

*Fan* memiliki fungsi sebagai penghasil aliran udara yang berfungsi sebagai bahan pendingin secara konveksi.

*Tabel 2. 2 Spesifikasi Fan*

| Spesifikasi      |                        |
|------------------|------------------------|
| <i>Type</i>      | <i>Axial flow</i>      |
| <i>Fan speed</i> | 500 min <sup>-1</sup>  |
| Diameter         | 2240 mm                |
| Rating /fan      | 12,4 kw                |
| Material         | <i>Aluminium alloy</i> |

c. *Tube*

*Tube* mempunyai fungsi mengalirkan air demin agar di dinginkan oleh cooler fan

*Tabel 2. 3 Spesifikasi Tube*

| Spesifikasi |          |
|-------------|----------|
| Diameter    | 16 mm    |
| Panjang     | 9.272 mm |
| Ketebalan   | 0,45 mm  |
| Material    | Copper   |

*Tabel 2. 4 Performa Close Cooling Water Heat Exchanger Fan Gas Turbine*

| Performa GT CCW                            |                                                  |                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                            | <i>Tube side</i>                                 | <i>Air side</i>                            |
| <i>Fluid name</i>                          | <i>GT Cooling water</i><br><i>(demineralize)</i> | <i>Cooling air</i><br><i>(ambient air)</i> |
| <i>Inlet temp. (°c)</i>                    | 60,8                                             | 40                                         |
| <i>Outlet temp. (°c)</i>                   | 43,7                                             | 49,9                                       |
| <i>Flow rate</i>                           | 162 m <sup>3</sup> /h                            | 144 m <sup>3</sup> /s                      |
| <i>Pressure drop (kg/Cm<sup>2</sup>)</i>   | 0,0025                                           | -                                          |
| <i>Design pressure (kg/Cm<sup>2</sup>)</i> | 6                                                | -                                          |
| <i>Design temp. (°c)</i>                   | 100                                              | -                                          |

## 2.8 Temperatur Lingkungan

Temperatur lingkungan merupakan salah satu faktor eksternal yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja cooling tower. Cooling tower mempunyai fungsi menurunkan suhu air panas dari sistem pendingin melalui proses perpindahan panas antara air panas dan udara sekitar. Proses ini berlangsung dengan prinsip evaporatif, di mana sebagian air menguap dan menyerap kalor laten dari sisa air yang didinginkan. Menurut (Irawan & Ahyadi, 2020), perubahan temperatur lingkungan baik *dry bulb* maupun *wet bulb temperature* akan memengaruhi efektivitas pendinginan. Pada temperatur lingkungan yang lebih tinggi, kemampuan udara untuk menyerap panas menurun karena kelembapan relatif udara meningkat, sehingga efisiensi *cooling tower*

menjadi lebih rendah. Sebaliknya, pada temperatur lingkungan yang lebih rendah, perbedaan suhu antara air panas dan udara pendingin meningkat, sehingga proses perpindahan panas berlangsung lebih efektif dan menghasilkan temperatur air keluar menjadi lebih rendah.

Kinerja *cooling tower* umumnya ditentukan melalui parameter range, approach, dan efisiensi. Range merupakan selisih antara temperatur air masuk ( $T_{in}$ ) dan keluar ( $T_{out}$ ), sedangkan approach merupakan selisih antara temperatur air keluar ( $T_{out}$ ) dengan temperatur udara *wet bulb* ( $T_{wb}$ ). Nilai *approach* yang lebih kecil menunjukkan bahwa temperatur air keluar mendekati temperatur udara sekitar, menandakan kinerja pendinginan yang baik. Efisiensi *cooling tower* dapat dihitung melalui perbandingan antara range dan jumlah dari range serta *approach*. Konsep ini juga berkaitan dengan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD), yaitu perbedaan suhu rata-rata logaritmik antara fluida panas dan fluida pendingin sepanjang proses perpindahan panas. Nilai LMTD menggambarkan daya dorong termal perpindahan panas pada sistem. Semakin besar LMTD, maka laju perpindahan panas yang terjadi juga akan semakin besar. Dalam konteks *cooling tower*, peningkatan temperatur lingkungan menyebabkan penurunan nilai LMTD, yang berarti menurunnya efektivitas perpindahan panas antara air panas dan udara pendingin.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa temperatur lingkungan berperan penting dalam menentukan performa *cooling tower*. Semakin tinggi temperatur udara sekitar, semakin rendah kemampuan *cooling tower* dalam menurunkan temperatur air pendingin, karena menurunnya gradien suhu yang menjadi pendorong perpindahan panas (Irawan & Ahyadi, 2020).

## 2.9 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan cabang ilmu yang mempelajari proses terjadinya aliran energi akibat adanya perbedaan suhu antara dua benda atau zat, serta memperkirakan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu (Walikrom et al., 2018). Berdasarkan prinsip termodinamika, energi yang berpindah akibat perbedaan suhu tersebut disebut sebagai kalor. Namun, perpindahan panas tidak hanya membahas mekanisme aliran energi dari satu benda ke benda lainnya, tetapi juga berfokus pada perhitungan serta perkiraan laju perpindahan panas yang terjadi di bawah kondisi tertentu. Secara umum, perpindahan panas berlangsung melalui tiga mekanisme utama, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi (Skripsi et al., n.d.-a).



### **2.9.1. Perpindahan panas secara konveksi**

Perpindahan panas secara konveksi merupakan mekanisme transfer panas dari daerah bersuhu lebih tinggi menuju daerah bersuhu lebih rendah yang disertai dengan pergerakan fluida sebagai media perantaranya, baik berupa udara maupun cairan. Pada proses ini, aliran fluida berperan penting dalam membawa dan mendistribusikan energi panas sepanjang jalur perpindahan temperatur lebih rendah, yang berlangsung bersamaan dengan perpindahan partikel-partikel zat perantara (Nurhasanah & Sudarmadi, n.d.). Sebagai contoh, proses ini dapat diamati pada *Cooler Fan* yang berfungsi mendinginkan air demineralisasi di dalam pipa atau *tube*.

### **2.9.2. Perpindahan panas konduksi**

Perpindahan panas secara konduksi adalah mekanisme transfer panas dari daerah bersuhu lebih tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah melalui suatu medium, baik padat maupun fluida yang tidak mengalami pergerakan. Pada proses ini, panas merambat akibat interaksi antar partikel dalam medium tersebut tanpa disertai perpindahan massa (Nurhasanah & Sudarmadi, n.d.). Dalam sistem pendingin utama pada pembangkit listrik, perpindahan kalor dapat terjadi secara langsung, yaitu ketika air panas didinginkan oleh udara sekitar melalui kontak langsung. Sementara pada alat penukar kalor tidak langsung, fluida panas tidak bersentuhan langsung dengan fluida dingin, melainkan dipisahkan oleh media perantara seperti pipa (*tube*), pelat, atau komponen sejenis lainnya. Bahan pemisah ini umumnya dipilih dari material yang memiliki konduktivitas termal tinggi agar proses perpindahan panas berlangsung lebih efisien. (Walikrom et al., 2018). Sebagai contoh, pada pipa dapat terjadi peningkatan suhu karena air demineralisasi di dalamnya memiliki temperatur yang lebih tinggi atau panas.

### **2.9.3. Perpindahan panas Radiasi**

Perpindahan panas secara radiasi merupakan proses perpindahan energi panas dari suatu benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu lebih rendah tanpa memerlukan medium perantara. Mekanisme ini terjadi melalui pancaran gelombang elektromagnetik, sehingga panas tetap dapat merambat meskipun kedua benda dipisahkan oleh ruang hampa, seperti halnya radiasi yang dipancarkan oleh matahari. Energi panas dalam bentuk radiasi ini dipancarkan oleh benda bertemperatur yang tinggi, dan ditransfer melalui ruang dalam bentuk gelombang elektromagnetik (Nurhasanah & Sudarmadi, n.d.). Ketika energi radiasi

tersebut mengenai suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian diserap oleh material, dan sebagian lainnya diteruskan ke bagian lain dari bahan tersebut. Sebagai contoh: di dalam ruang bakar turbin gas, terjadi proses pembakaran bahan bakar dengan udara bertekanan tinggi yang menghasilkan gas panas bersuhu sangat tinggi (lebih dari 1000 °C). Panas dari gas hasil pembakaran tersebut tidak hanya berpindah ke udara atau dinding ruang bakar melalui konveksi dan konduksi, tetapi juga melalui radiasi. Radiasi panas ini memancar dari nyala api dan gas panas ke permukaan dinding ruang bakar, turbine nozzle, dan sudut-sudut bilah turbin (*turbine blades*). Oleh karena itu, komponen-komponen tersebut dirancang menggunakan material tahan suhu tinggi dan sering dilengkapi lapisan pelindung termal untuk mengurangi penyerapan panas akibat radiasi.

### **2.10 Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan**

Koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) menggambarkan kemampuan suatu penukar panas dalam mentransfer energi dari fluida panas ke fluida dingin. Nilai U dipengaruhi oleh ketebalan dinding, konduktivitas material, dan karakteristik perpindahan panas masing-masing fluida. Semakin besar nilai U, semakin rendah hambatan perpindahan panas sehingga proses pemanasan atau pendinginan berlangsung lebih cepat dan efisien. Nilai U yang tinggi juga membantu memperpendek waktu proses dan meningkatkan kinerja serta efektivitas penukar panas secara keseluruhan (TLV Steam Resources, n.d.).

Dalam penerapan, U-value digunakan sebagai indikator performa termal pada berbagai peralatan, termasuk *Closed Cooling Water fan*, material dinding, maupun sistem insulasi. Pada perancangan *Closed Cooling Water cooler fan*, nilai U-value menjadi acuan untuk menentukan spesifikasi geometrik dan karakteristik material yang mampu menghasilkan transfer panas yang optimal antara fluida proses. Di sektor konstruksi, U-value material seperti panel dinding atau jendela dimanfaatkan untuk mengevaluasi kehilangan atau penerimaan panas, yang selanjutnya berpengaruh pada beban pendinginan atau pemanasan bangunan. Penentuan U-value yang presisi memungkinkan engineer melakukan optimasi desain, pemilihan material, serta penyesuaian konfigurasi sistem agar sesuai dengan standar efisiensi energi yang ditetapkan. Oleh karena itu, pemahaman teknis mengenai U-value sangat penting untuk memastikan performa perpindahan panas yang efektif dan konsumsi energi yang efisien dalam berbagai aplikasi industri maupun konstruksi.

### **2.11 Log Mean Temperature Differential (LMTD)**

Nilai (Logarithmic Mean Temperature Difference (LMTD) menggambarkan perbedaan suhu rata-rata logaritmik antara aliran fluida panas dan fluida dingin pada penukar panas. Parameter ini digunakan untuk menilai driving force perpindahan panas di sepanjang penukar panas (Amru Fathony Lubis & Teknik Mesin STT-PLN, 2018). LMTD berfungsi untuk menentukan perbedaan suhu rata-rata antara aliran fluida panas dan fluida dingin di kedua sisi penukar panas berfungsi untuk menentukan perbedaan suhu rata-rata antara aliran fluida panas dan fluida dingin pada kedua sisi penukar panas. (PT. Indonesia Power UJp PLTU). Metode ini digunakan untuk menghitung efektivitas proses perpindahan panas dengan memperhitungkan perubahan suhu yang terjadi sepanjang jalur aliran fluida. Semakin besar nilai LMTD, maka semakin efisien penukar panas dalam mentransfer energi termal antarfluida.

Perhitungan LMTD dilakukan dengan menentukan selisih suhu di setiap ujung penukar panas, kemudian dihitung nilai rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu tersebut (PT. Indonesia Power UJp PLTU). Pentingnya LMTD terletak pada kemampuannya memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai gaya pendorong (*driving force*) perpindahan panas dalam sistem aliran fluida. Hal ini relevan dalam perancangan serta analisis kinerja berbagai jenis *Heat Exchanger*, seperti tipe shell-and-tube maupun plate *Heat Exchanger*.

Selain itu, nilai LMTD dapat disesuaikan dengan faktor koreksi (*correction factor*) yang memperhitungkan konfigurasi aliran dan ketidaksempurnaan sistem, sehingga hasilnya lebih akurat dan aplikatif secara teknis. Dengan demikian, penerapan metode LMTD menjadi aspek penting dalam peningkatan efisiensi operasional dan perencanaan teknis penukar panas di berbagai bidang industri.

### **2.12 Tahapan Penentuan Efektivitas Closed Cooling Water Cooler Fan**

Perhitungan efektivitas *Closed Cooling Water fan* dilakukan melalui beberapa tahapan utama yang mencakup penggunaan berbagai rumus perhitungan guna memastikan kinerja perpindahan panas berjalan secara efisien dan efektif (Sofariyah et al., n.d.).

a. Perhitungan Koefisien fluida panas

Perhitungan Koefisien fluida panas ( $C_{ph}$ ) ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung temperatur referensi dari fluida panas, pada Table A-15 Properties of air at 1 atm pressure.

$$T_{fh} = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2} \quad (2.1)$$

Keterangan

$T_{fh}$  = Temperatur Referensi Fluida Panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{hi}$  = Temperatur fluida masuk panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ho}$  = Temperatur fluida keluar panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

b. Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas dihitung dengan menentukan laju aliran massa fluida panas ( $\dot{m}_h$ ) menggunakan persamaan  $Q_{design} = Q_h$ , serta memanfaatkan kapasitas panas fluida panas ( $C_{ph}$ ) yang diperoleh dari Table A-15 Properties of air at 1 atm pressure.

$$\dot{m}_h = \frac{Q_{design}}{C_p \times (T_{hi} - T_{ho})} \quad (2.2)$$

Keterangan

$\dot{m}_h$  = Laju massa fluida panas ( $\text{kg/s}$ )

$Q_h$  = Laju perpindahan panas ( $\text{J/s}$ )

$T_{hi}$  = Temperatur fluida masuk panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{ho}$  = Temperatur fluida keluar panas ( $^{\circ}\text{C}$ )

c. Perhitungan Temperatur Fluida Dingin Keluar dari Alat Penukar Panas

Perhitungan temperatur fluida dingin keluar dari penukar panas ( $T_{co}$ ) dilakukan dengan menggunakan nilai laju perpindahan panas yang diasumsikan sama, yaitu  $q = q_h = q_c$ , berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya.

$$T_{co} = T_{ci} \frac{Q_h}{\dot{m}_h \times C_{pc}} \quad (2.3)$$

Keterangan

$T_{co}$  = Temperatur fluida keluar dingin (°C)

$T_{ci}$  = Temperatur fluida masuk dingin (°C)

$Q_h$  = Laju perpindahan panas (J/s)

$\dot{m}_h$  = Laju massa fluida panas (kg/s)

$C_{pc}$  = koefisien fluida dingin (J/kg K)

Selanjutnya Menentukan nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{ph} \quad (2.4)$$

Keterangan

$C_h$  = Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)

$\dot{m}_h$  = Laju massa fluida panas (kg/s)

$C_{ph}$  = Koefisien fluida panas (J/kg K)

$$C_c = \dot{m}_c + C_{pc} \quad (2.5)$$

Keterangan

$C_c$  = Laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)

$\dot{m}_c$  = Laju massa fluida dingin (kg/s)

$C_{pc}$  = koefisien fluida dingin (J/kg K)

Jika,

$C_h < C_c$ , maka  $C_{min} = C_h$

$C_c > C_h$ , maka  $C_{max} = C_c$

$C_{min}$  akan digunakan untuk menentukan nilai  $q_{max}$  pada *Closed Cooling Water Cooler fan*

$$q_{max} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci}) \quad (2.6)$$

Keterangan

$q_{max}$  = Laju perpindahan panas maksimal (W)

$C_{min}$  = ?

$T_{hi}$  = Temperatur fluida masuk panas (°C)

$T_{ci}$  = Temperatur fluida masuk dingin (°C)

d. Metode *Log Mean Temperature Differential*

Setelah mengetahui temperatur *inlet* dan *outlet* untuk fluida panas dan fluida dingin, maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Log Mean Temperature Differential*.

$$LMTD = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left[ \frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})} \right]} \quad (2.7)$$

Keterangan

$LMDT$  = Log Mean Temperature Differential (°C)

$T_{hi}$  = Temperature fluida masuk panass (°C)

$T_{ho}$  = Temperatur fluida keluar panas (°C)

$T_{ci}$  = Temperatur fluida masuk dingin (°C)

$T_{co}$  = Temperatur fluida keluar dingin (°C)

Kemudian menentukan nilai perpindahan panas total.

$$U = \frac{Q_{max}}{A \times LMTD} \quad (2.8)$$

Keterangan

$U$  = Overall heat Transfer coefficient ( $W/m^2K$ )

$Q_{max}$  = laju perpindahan panas maksimal (W)

$A$  = luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$LMTD = \text{Log Mean Temperatur Differential } (^{\circ}\text{C})$

e. Perhitungan Efektivitas

Untuk memperoleh nilai efektivitas, langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung *Number of Transfer Unit* (NTU) sebagai dasar dalam penentuan tingkat kinerja perpindahan panas pada sistem.

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \quad (2.9)$$

Keterangan

$NTU$  = Number of *thermal* unit

$U$  = Overall heat transfer coefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )

$A$  = luas perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )

$C_{min}$  =

Setelah nilai *Number of Transfer Unit* (NTU) ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai efektivitas. Perhitungan efektivitas ini dilakukan dengan menggunakan rumus yang disesuaikan berdasarkan jenis aliran fluida yang digunakan dalam sistem, yaitu:

1. *Parallel flow*

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU (1 + c)]}{1 + c} \quad (2.10)$$

2. *Counter flow*

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU (1 + c)]}{1 - c \exp[-NTU (1 + c)]} \quad (2.11)$$

3. *Cross flow*

$$\varepsilon = 1 - \exp \left\{ \frac{NTU^{0,22}}{c} [\exp(-c \times NTU^{0,22}) - 1] \right\} \quad (2.12)$$

Karena aliran yang terdapat pada *Closed Cooling Water* cooler fan adalah aliran cross flow, sehingga untuk mencari efektivitas digunakan rumus

### 2.13 *Software DWSIM*

DWSIM merupakan perangkat lunak simulasi proses berbasis *open-source* yang dirancang untuk membantu analisis serta perancangan sistem rekayasa kimia dan proses industri. Aplikasi ini menyediakan antarmuka grafis yang memudahkan pengguna dalam membangun model proses serta mendukung beragam metode termodinamika dan model perhitungan. Melalui fitur *Script Manager*, pengguna dapat menulis serta menjalankan skrip berbasis Python untuk melakukan manipulasi data dan otomatisasi simulasi, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi dalam proses pemodelan.

Selain itu, DWSIM dilengkapi dengan berbagai fitur lanjutan yang memperkuat kemampuan analisis dan desain sistem rekayasa kimia. Salah satu keunggulannya adalah dukungan terhadap model-model termodinamika tingkat lanjut, seperti *activity models*, *equation of state models*, dan *mixture models*, yang memungkinkan evaluasi karakteristik fluida dan kondisi operasi dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Perangkat lunak ini juga mendukung simulasi dinamis, yang memungkinkan pengguna untuk mengamati respons sistem terhadap perubahan kondisi operasi atau waktu secara *real-time*. Dengan demikian, DWSIM tidak hanya mampu melakukan analisis pada kondisi tunak (*steady – state*), tetapi juga memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku dinamis suatu proses. Antarmuka grafis yang intuitif turut memudahkan pengguna dalam proses perancangan dan pemodelan, sementara integrasi dengan bahasa pemrograman Python memungkinkan pengolahan data dan otomatisasi simulasi secara lebih fleksibel. Didukung oleh komunitas pengguna yang aktif serta dokumentasi yang lengkap, DWSIM terus dikembangkan dan disesuaikan dengan kebutuhan industri modern.