



Vol: 3 N0. 2 | Oktober 2019

ISSN No. 2597 - 4254

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Rekayasa Mekanik

1. KAJI KARAKTERISTIK MEKANISME FURLING CONTROL MODEL TURBIN ANGIN DENGAN SUDUT EKOR 0°
Agus Suandi, Nurul Iman Supardi, dan Angky Puspawan Hal 1
2. ANALISIS KARAKTERISTIK AERODINAMIKA FLYING WING DENGAN WINGLET MENGGUNAKAN METODE CFD DENGAN SOLVER-FLUENT
Alfin Mustagfirin Pohan, Arifin Rasyadi Soemaryanto, Nurbaiti, Helmizar, dan Nurul Iman Supardi Hal 5
3. THE EFFECTIVENESS OF COOLING TOWER OF MECHANICAL DRAFT-UNIT 3 STEAM POWER PLANT CASE STUDY IN PT. PLN (PERSERO), BUKIT ASAM SECTOR, TANJUNG ENIM REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE
Angky Puspawan Hal 9
4. ANALISIS REMAINING LIFE TANGKI K-20 PERTAMINA RU III PLAJU
Dedi Suryadi dan Argian Ardi Prasetya Hal 19
5. ANALISA PERFORMANCE POMPA SENTRIFUGAL ITEM 6P-4021-J YANG DIPENGARUHI KONDISI STRAINER TERHADAP EFISIENSI KERJA YANG DIHASILKAN
Edi Nugroho, Arief Sunaryunanto, Helmizar, Agus Nuramal, dan Agus Suandi Hal 25
7. PERBANDINGAN EFISIENSI ISENTROPIK STEAM TURBINE TC 663 MY 140 UNIT 4 PLTU PT. PLN (PERSERO) SEK TOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM, TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN TAHUN 2017 DENGAN TAHUN 2019
Tito Apiyanto dan Yovan Witanto Hal 31
8. RANCANG BANGUN ALAT PENGARANGAN TIPE RETORT KAPASITAS 40 KG
Nurul Iman Supardi dan Zuliantoni Hal 37

TEKNIK MESIN - FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
Jalan W. R. Supratman
Kandang Limun, Bengkulu 38371
Sumatera - INDONESIA
Tel : +62 736 21170 and 21884
Fax : +62 736 22105
E-mail : rekayasamekanik@unib.ac.id



Di publikasikan oleh:
Fakultas Teknik UNIB



Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



ISSN No. 2597 – 4254

Vol. 3 No. 2, Oktober 2019

Jurnal Rekayasa Mekanik mempublikasikan karya tulis di bidang sains – teknologi, murni disiplin dan antar disiplin, berupa penelitian dasar, perancangan dan studi pengembangan teknologi. Jurnal ini terbit berkala setiap enam bulan (April dan Oktober)

Penanggung Jawab

Dr.Eng Dedi Suryadi, S.T., M.T.

Penyunting Ahli (Mitra Bestari)

Helmizar, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Bengkulu)

Dr.Eng. Hendra, S.T., M.T. (Universitas Bengkulu)

Dr. Gesang Nugroho, S.T., M.T. (Universitas Gadjah Mada)

Dr.Eng. Nurkholis Hamidi (Universitas Brawijaya)

Dr.Eng. Munadi (Universitas Diponegoro)

A Sofwan F Alqap, S.T., M.Tech., Ph.D. (Universitas Bengkulu)

Hendri Hestiawan, S.T., M.T., Ph.D. (Universitas Bengkulu)

Redaktur

Agus Nuramal, S.T., M.T.

Desain Grafis

Agus Suandi, S.T., M.T.

Sekretariat

Yovan Witanto, S.T., M.T.

Penerbit

Fakultas Teknik – Universitas Bengkulu

Sekretariat Redaksi:

Gedung Dekanat Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin – Universitas Bengkulu

Jln. WR Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38123, Telp. (0736) 21170, 344067

Email: teknik_mesin@unib.ac.id

DAFTAR ISI

REDAKSI	i
DAFTAR ISI	ii
1 KAJI KARAKTERISTIK MEKANISME <i>FURLING CONTROL</i> MODEL TURBIN ANGIN DENGAN SUDUT EKOR 0°	1
Agus Suandi, Nurul Iman Supardi, dan Angky Puspawan	
2 ANALISIS KARAKTERISTIK AERODINAMIKA FLYING WING DENGAN WINGLET MENGGUNAKAN METODE CFD DENGAN SOLVER-FLUENT	5
Alfin Mustagfirin Pohan, Arifin Rasyadi Soemaryanto, Nurbaiti, Helmizar, dan Nurul Iman Supardi	
3 <i>THE EFFECTIVENESS OF COOLING TOWER OF MECHANICAL DRAFT-UNIT 3 STEAM POWER PLANT CASE STUDY IN PT. PLN (PERSERO), BUKIT ASAM SECTOR, TANJUNG ENIM REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE</i>	9
Angky Puspawan	
4 ANALISIS REMAINING LIFE TANGKI K-20 PERTAMINA RU III PLAJU	19
Dedi Suryadi dan Argian Ardi Prasetya	
5 ANALISA <i>PERFORMANCE</i> POMPA SENTRIFUGAL ITEM 6P-4021-J YANG DIPENGARUHI KONDISI <i>STRAINER</i> TERHADAP EFISIENSI KERJA YANG DIHASILKAN	25
Edi Nugroho, Arief Sunaryunanto, Helmizar, Agus Nuramal, dan Agus Suandi	
7 PERBANDINGAN EFISIENSI ISENTROPIK <i>STEAM TURBINE TC 663 MY 140</i> UNIT 4 PLTU PT. PLN (PERSERO) SEKTOR PEMBANGKITAN BUKIT ASAM, TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN TAHUN 2017 DENGAN TAHUN 2019	31
Tito Apiyanto dan Yovan Witanto	
8 RANCANG BANGUN ALAT PENGARANGAN TIPE RETORT KAPASITAS 40 KG	37
Nurul Iman Supardi dan Zuliantoni	
Format Penulisan Jurnal	45

THE EFFECTIVENESS OF COOLING TOWER OF MECHANICAL DRAFT-UNIT 3 STEAM POWER PLANT CASE STUDY IN PT. PLN (PERSERO), BUKIT ASAM SECTOR, TANJUNG ENIM REGENCY, SOUTH SUMATERA PROVINCE

Angky Puspawan[I]

[I] Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

Jalan W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu 38371A

Email: angkypuspawan@yahoo.com

ABSTRAC

Coal is an important natural resource that can produce energy for electricity generation. The Bukit Asam Sector Steam Power Plant (PLTU) PT. PLN (Persero) is a state-owned company in charge of managing coal into fuel to produce electricity. The boiler working vapor after turning the turbine shaft is condensed into liquid fluid with the help of cooling tower. This means that the heat held by the working steam from the steam turbine is absorbed by the cooling media in the form of water that is circulated from the cooling tower. So that the vapor turns into a liquid phase with a lower temperature, and can be circulated again by the pump to supply water to the boiler to produce working steam. From the results of the analysis of the effectiveness of the mechanical tower mechanical draft Unit 3, obtained for theoretical conditions range 19 °C, approach 1 °C, 95% effectiveness 95 %, and make up water 1,674.550 m³/hour. As for the condition range of 8 °C, approach 1 °C, effectiveness 89.889%, and make up water 1,407.343 m³/hour. The effectiveness of actual cooling tower conditions is 94.62% from theoretical conditions, with a decrease of 5.111% and good operating conditions are categorized.

Keywords: effectiveness, cooling tower, theoretical, actual

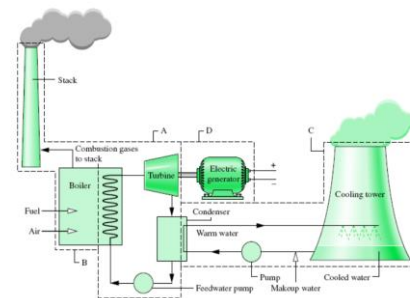
I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik merupakan salah satu kebutuhan utama untuk menunjang kegiatan kehidupan manusia. Banyak jenis pembangkit listrik yang tersebar di seluruh Indonesia salah satunya adalah PLTU (Pembangkit Tenaga Uap) PT. PLN (Persero) Sektor Bukit Asam, Kabupaten Tanjung Enim, Provinsi Sumatera Selatan. Pembangkit listrik bekerja berdasarkan tenaga yang dimanfaatkannya. Pembangkit listrik memiliki mesin yang beroperasi untuk mengkonversikan menjadi energi listrik. Khususnya kondensor yang berfungsi mengubah energi kinetik berupa uap bertekanan dan bertemperatur tinggi menjadi energi kinetik fluida cair bertekanan dan bertemperatur rendah. Perubahan fluida dari fluida uap menjadi fluida cair pada kondensor adalah melalui proses pendinginan yang dilakukann oleh *cooling tower*. Apabila *cooling tower* beroperasi secara terus menerus (kontinyu), perlu diperhatikan tentang kinerja atau kemampuan efektivitas *cooling tower* sebagaimana fungsinya dalam mendinginkan atau menyerap kalor dari uap kerja. Oleh karena itu, penulis fokus pada efektivitas *cooling tower* selama operasi, khususnya *cooling tower mechanical draft unit 3* pada PLTU Sektor Bukit Asam.

II. LANDASAN TEORI

Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. *Generator* menghasilkan energi listrik yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering[1]. PLTU dapat dilihat seperti pada gambar 1.



Gambar 1. PLTU[1]

Keunggulan PLTU:

- Dapat dioperasikan menggunakan berbagai jenis bahan bakar (padat, cair dan gas)
- Dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi
- Dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan
- Kontinuitas operasinya tinggi
- Usia pakai (*life time*) relatif lama

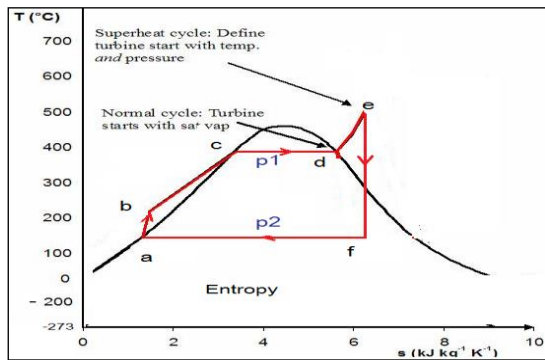
Kelemahan PLTU:

- Sangat tergantung pada tersedianya pasokan bahan bakar
- Tidak dapat dioperasikan (*start*) tanpa pasokan listrik dari luar

- Memerlukan tersedianya air pendingin yang sangat banyak dan kontinyu
- Investasi awalnya mahal

Siklusambar Kerja PLTU

Siklus Kerja PLTU merupakan siklus tertutup dan dapat digambarkan dengan diagram $T-s$ pada gambar 2. Siklus ini adalah penerapan siklus *rankine* ideal[2]. Urutan langkahnya adalah seperti pada berikut:



Gambar 2. Siklus Rankine Ideal.

Keterangan

- a - b Air dipompa dari tekanan P_2 menjadi P_1 . Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*. Terjadi pada pompa air pengisi.
- b - c Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga titik didih. Terjadi di *LP heater, HP heater* dan *Economizer*.
- c - d Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di *boiler* yaitu di *wall tube (riser)* dan *steam drum*.
- d - e Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Terjadi di *superheater boiler* dengan proses *isobar*.
- e - f Uap melakukan kerja tekanan dan temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.
- f - a Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.

Komponen Utama PLTU

Adapun komponen-komponen utama PLTU meliputi:

a. Boiler

Boiler berfungsi untuk mengubah air (*feed water*) menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*) yang akan digunakan untuk memutar turbin. *Boiler* atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap.

Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. Uap yang dihasilkan *boiler* adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Jumlah produksi uap tergantung pada luas permukaan pemindah panas, laju aliran, dan panas pembakaran yang diberikan. *Boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut dengan *water tube boiler (boiler pipa air)* [1].

b. Turbin Uap

Turbin uap berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang terkandung dalam uap menjadi energi putar (daya poros). Uap dengan tekanan dan temperatur tinggi mengalir melalui nosel sehingga kecepatannya naik dan mengarah dengan tepat untuk mendorong sudu-sudu turbin yang dipasang pada poros. Akibatnya poros turbin bergerak menghasilkan putaran (daya poros). Daya poros yang dihasilkan digunakan untuk memutar *generator* sehingga dihasilkan energi listrik. Uap yang telah melakukan kerja di turbin, tekanan dan temperaturnya akan turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap yang keluar dari turbin ini kemudian dialirkan ke dalam kondensor untuk didinginkan agar menjadi air kondensat[1].

c. Kondensor

Kondensor berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin. Proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe *surface* (permukaan). Kebutuhan air untuk pendingin di kondensor sangat besar sehingga dalam perencanaan biasanya sudah diperhitungkan. Air pendingin diambil dari sumber yang cukup persediannya, yaitu dari danau, sungai atau laut. Posisi kondensor umumnya terletak dibawah turbin sehingga memudahkan aliran uap keluar turbin untuk masuk kondensor karena gravitasi[1].

d. Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik. *Generator* yang dikopel langsung dengan turbin akan menghasilkan tegangan listrik ketika turbin berputar. Proses konversi energi di dalam *generator* adalah dengan memutar medan magnet didalam kumparan. Rotor *generator* sebagai medan magnet menginduksi kumparan yang dipasang pada stator sehingga timbul tegangan diantara kedua ujung kumparan *generator*. Untuk membuat rotor agar menjadi medan magnet, maka dialirkan arus *direct*

current ke kumparan rotor. Sistem pemberian arus *direct current* kepada rotor menjadi magnet ini disebut sistem eksitasi[1].

e. **Cooling Tower (Menara Pendingin)**

Cooling tower berfungsi sebagai media pendingin berupa air yang menyerap kalor dari uap turbin dan melepaskan kalor tersebut ke udara. *Cooling tower* bekerja dengan cara mengontakkan air yang didinginkan dengan udara dan menguapkan sebagian air tersebut[2][3][4].

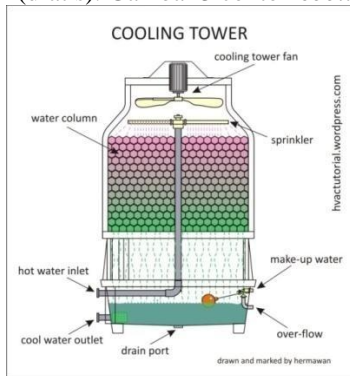
Cooling Tower (Menara Pendingin)

Cooling tower adalah sebuah alat penukar kalor yang material fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap.

Umumnya menara pendingin yang dipakai pada sistem pendinginan udara menggunakan sistem pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal melintasi menara. Efektifitas menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* seperti gambar 3 [2][3][4].

2.3 Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Prinsip kerja menara pendingin berdasarkan pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Dalam Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sejumlah sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan (dratis). Gambar 3 contoh *cooling tower*.



Gambar 4. *Cooling Tower* (Menara Pendingin)[2][3][4][6].

Pada dasarnya *cooling tower* terdiri dari berbagai peralatan utama, yaitu kipas (*fan*), pompa *cooling tower* utama (*main cooling tower pump, mcwp*), pendingin udara generator (*generator air cooler*), pendukung menara (*tower supporter*), pipa *sprinkler* (*pipe sprinkler*), dan penampung air (*water basin*). Sebuah *cooling water* memanfaatkan uap panas dari kondensator sebagai fluida kerjanya.

2.4 Siklus Kerja *Cooling Tower* (Menara Pendingin)

Range adalah perbedaan temperatur antara tingkat temperatur air masuk menara pendingin

Untuk lebih jelas pada pembangkit listrik tenaga uap, yaitu:

Fluida yang keluar dari hasil proses pendinginan pada mesin kondensator, mempunyai suhu panas atau besar. Sehingga diperlukannya pendinginan agar fluida dari proses mesin tersebut dapat digunakan kembali dengan suhu yang stabil. Fluida disini merupakan air yang mana pada sistem pendinginan berkapasitas sedang dan besar air sebagai media pendingin kondensator. Hal ini dikarenakan air memiliki kemampuan pemindahan kalor yang lebih baik. Fungsi dari *cooling tower* atau Menara pendingin adalah untuk menurunkan temperatur aliran fluida baik itu air, ataupun oil dengan cara mengekstraksi panas dari fluida dan mengemisikannya ke atmosfer. Setelah melalui kondensator, temperatur air akan naik karena menyerap sejumlah kalor dari uap di kondensator, temperatur air akan naik karena menyerap sejumlah kalor dari uap di kondensator. Air panas ini lalu masuk melalui *hot water inlet port* pada *cooling tower* untuk seterusnya naik ke bagian atas *cooling tower* tersebut. Air kemudian keluar melalui lubang-lubang yang ada pada *sprinkler*. *Sprinkler* akan berputar sambil melepaskan air dan mendistribusikannya secara merata dibagian atas *cooling tower*. Air yang keluar dari *sprinkler* ini kemudian masuk ke *water column* dan bersinggungan dengan aliran udara yang arahnya berlawanan (air panas turun ke bagian bawah *cooling tower*, sementara udara masuk dari bagian bawah untuk seterusnya keluar dari bagian atas). Pada saat persinggungan antara air dan udara, sejumlah kalor akan dilepaskan oleh air yang bertemperatur lebih tinggi ke udara yang bertemperatur lebih rendah. Sehingga mengakibatkan temperatur air akan turun. Temperatur air yang sudah dingin ini kemudian ditampung dibagian bawah *cooling tower* (basin) untuk kemudian disirkulasikan lagi menuju kondensator agar dapat menyerap kalor lagi.

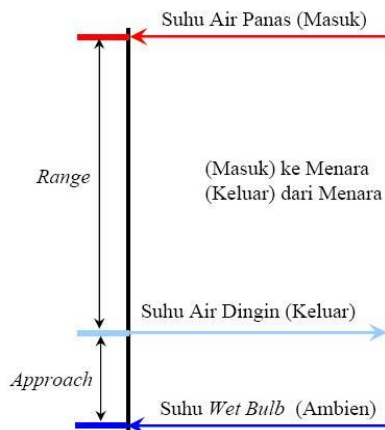
Pada saat persinggungan air dan udara, sejumlah air akan ikut terbuang ke udara, sehingga volume air akan berkurang. Untuk mengatasinya, maka *make-up water* yang dihubungkan dengan jalur air domestik (PAM) dengan dilengkapi pelampung akan tetap menjaga agar level air di penampung tidak berkurang.

dengan tingkat temperatur air keluar menara pendingin. Sedangkan *approach* adalah perbedaan temperatur air keluar menara pendingin dengan temperatur bola basah udara (*air wet bulb*) masuk atau selisih temperatur air yang didinginkan (air dingin) dengan temperatur bola basah dari udara atmosfer, seperti pada gambar 5[3].

Temperatur udara umumnya diukur dengan menggunakan temperatur bola kering (*dry bulb temperature*) sedangkan temperatur bola basah (*wet bulb temperature*) adalah temperatur bola yang diberi kain kasa basah, sehingga apabila air

menguap dari kain kasa dan pembacaan temperatur pada termometer menjadi lebih rendah dari pada temperatur bola kering.

Pada kelembaban tinggi, penguapan akan berlangsung lambat dan temperatur bola basah (*temperature of wet bulb, T_{wb}*) identik dengan temperatur bola kering (*temperature of dry bulb, T_{db}*). Namun pada kelembaban rendah sebagian air akan menguap, sehingga temperatur bola basah akan semakin jauh perbedaannya dengan temperatur bola kering.



Gambar 5. Range dan approach cooling tower^[2,4,6,8]

2.5 Klasifikasi Cooling Tower (Menara Pendingin)

1. Menara Pendingin Basah (Wet Cooling Tower)

Menara pendingin basah yang mempunyai sistem distribusi air panas yang disemprotkan secara merata ke kisi-kisi, lubang-lubang, atau batang-batang horizontal pada sisi menara yang disebut isian. Udara masuk dari luar Menara melalui kisi-kisi yang berbentuk celah-celah horizontal yang terpancang pada sisi menara. Celah biasanya mengarah miring ke bawah agar air tidak keluar.

Adanya pencampuran air dan udara maka terjadi perpindahan kalor sehingga air menjadi dingin. Air yang sudah dingin berkumpul di bak/penampung atau basin di dasar Menara dan dari situ diteruskan ke kondensor atau dibuang keluar, sehingga udara baru kalor dan lembab keluar melalui atas menara.

Menara pendingin basah dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. Menara Pendingin Basah Aliran Angin Alami (*Natural-Draft Cooling Tower*)

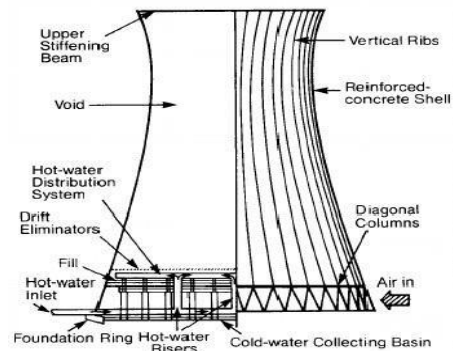
Pada awalnya menara pendingin ini berbentuk silinder hingga pada akhirnya berbentuk hiperbola seperti sekarang ini. Menara pendingin ini pertama dibuat pada tahun 1912, di gunakan di Inggris dan Amerika. Menara pendingin ini tidak menggunakan kipas dan aliran udaranya bergantung semata-mata pada tekanan dorong alami dan tidak ada bagian yang

bergerak. Udara mengalir keatas karena adanya perbedaan massa jenis antara udara atmosfer dengan udara kalor lembab didalam menara pendingin yang bersuhu lebih tinggi dari pada udara atmosfer sekitarnya, dapat dilihat pada Gambar 6 dan gambar 7. Karena beda massa jenis ini maka timbul tekanan dorong yang mendorong udara keatas. Menara pendingin alami ini memiliki tinggi yang cukup tinggi dapat mencapai puluhan meter. Menara pendingin alami ini dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

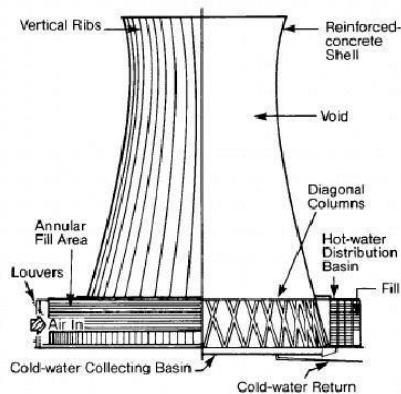
- Menara Pendingin Aliran Angin Alami Aliran Lawan Arah.
- Menara Pendingin Aliran Angin Alami Aliran Silang Arah.

Kedua jenis menara pendingin ini, menara pendingin aliran angin alami silang arah kurang diminati, karena lebih sedikit memberi tahanan terhadap aliran udara di dalam Menara pendingin, sehingga kecepatan udaranya lebih tinggi dan mekanisme perpindahan kalornya kurang efektif dan efisien. Menara pendingin aliran angin alami lawan arah lebih sering dipakai karena mempunyai kelebihan:

- Memiliki konstruksi yang kuat dan kokoh sehingga lebih tahan terhadap tekanan angin.
- Mampu beroperasi dicuaca dingin ataupun lembab.
- Dapat digunakan untuk instalasi skala besar.



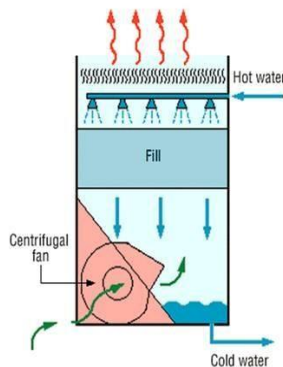
Gambar 6. Menara Pendingin Aliran Angin Alami Lawan Arah[5][7].



Gambar 7. Menara Pendingin Aliran Angin Alami Silang Arah[5][7]

2. Menara Pendingin Basah Aliran Angin Mekanik (*Mechanical-Draft Cooling Tower*)

Pada menara pendingin ini udara mengalir karena adanya kipas yang digerakkan secara mekanik. Fungsi kipas adalah mendorong udara melalui menara pendingin (*forced-draft*) atau menarik udara melalui menara pendingin (*induced-draft*) yang dipasang diatas atau dibawah Menara pendingin, seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Menara Pendingin Aliran Angin Mekanik[5][7].

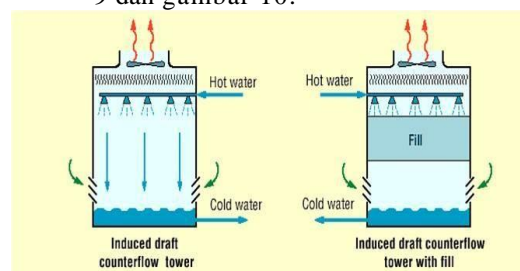
Berdasarkan fungsi kipas, menara pendingin aliran angin mekanik terbagi menjadi 2 jenis, yaitu:

1. Tipe Aliran Angin Dorong (*Forced-Draft*)
2. Tipe Aliran Angin Tarik (*Induced-Draft*)

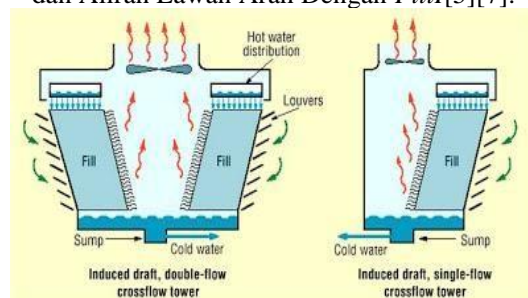
Tipe aliran angin dorong (*forced-draft*), kipas yang dipasang di bagian bawah atau dasar Menara pendingin, sehingga mendorong udara melalui Menara pendingin. Aliran angin ini secara teoritis banyak disukai karena kipas beroperasi dengan udara yang lebih dingin, sehingga konsumsi daya listrik menjadi lebih kecil. Tetapi berdasarkan beberapa kasus jenis

ini memiliki masalah yang berkaitan dengan distribusi udara, kebocoran, dan resirkulasi udara kalor dan lembab kembali ke menara. Seiring dengan banyaknya permasalahan yang timbul maka saat ini banyak digunakan pada instalasi adalah tipe aliran angin tarik (*induced-draft*). Pada menara pendingin aliran angin tarik, udara masuk dari sisi menara melalui buka-bukaan yang cukup besar pada kecepatan rendah dan bergerak melalui bahan pengisi (*filling material*). Pemasangan kipas pada puncak menara dan membuang udara kalor dan lembab ke atmosfer.

Aliran udara masuk menara pada dasarnya horizontal, tetapi aliran pada bahan pengisi ada yang horizontal seperti pada menara pendingin aliran silang dan ada pula yang vertikal seperti menara pendingin aliran lawan arah. Menara pendingin aliran lawan arah lebih banyak dipakai dan dipilih karena efisiensi termalnya lebih baik dari pada aliran silang, dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Menara Pendingin Aliran Dorong (*Induced-Draft*) Aliran Lawan Arah Tanpa Fill dan Aliran Lawan Arah Dengan Fill[5][7].



Gambar 10. Menara Pendingin Aliran Dorong (*Induced-Draft*) Aliran Lawan Arah Aliran Dua (*Double Flow*) dan Aliran Lawan Arah-Aliran Tunggal (*Singel Flow*)[5][7].

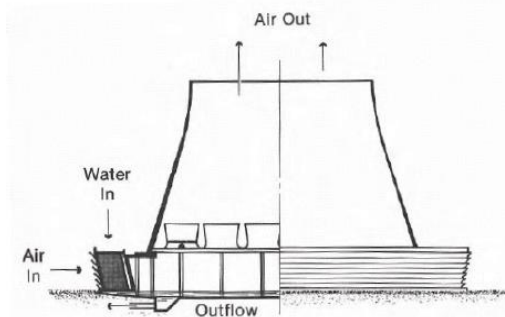
Keunggulan menara pendingin basah aliran angin mekanik adalah:

1. Terjaminnya aliran jumlah udara dalam jumlah yang dibutuhkan pada segala kondisi beban dan cuaca.
2. Biaya investasi dan konstruksi lebih murah.
3. Ukuran dimensi lebih kecil.

Kelemahan menara pendingin basah aliran angin mekanik adalah:

1. Kebutuhan daya yang besar.
 2. Biaya operasi dan pemeliharaan lebih besar.
 3. Bunyi yang dihasilkan bising atau ribut.
- 3. Menara Pendingin Basah Aliran Angin Gabungan (Combine-Draft Cooling Tower)**

Menara pendingin ini mempunyai ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan menara pendingin angin alami dan mekanik, dimana ukurannya dua pertiga menara pendingin angin mekanik dan terdapat kipas listrik yang dapat mendorong angin. Adapun Menara pendingin aliran angin gabungan seperti pada gambar 11.

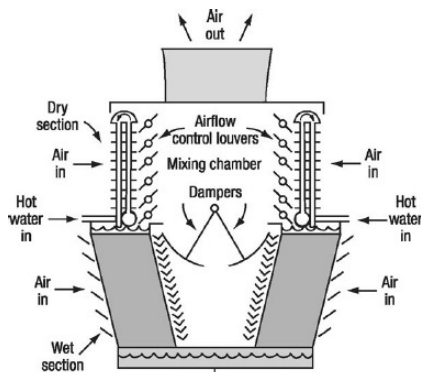


Gambar 11. Menara Pendingin Aliran Angin Gabungan[5][7].

2. Menara Pendingin Kering (Dry Cooling Tower)

Menara ini adalah menara pendingin yang air sirkulasinya dialirkan didalam tabung-tabung bersirip yang dialiri udara, kalor yang dikeluarkan dari air sirkulasi diubah. Menara pendingin kering ini dirancang untuk dioperasikan dalam ruang tertutup. Keunggulan menara pendingin ini yaitu:

1. Udara keluar tidak jenuh, sehingga memiliki keputulan yang sedikit.
2. Airnya mengalami pendinginan awal di bagian kering, penyusutan karena penguapan jauh berkurang, demikian juga dengan air tambahan.



Gambar 12. Menara Pendingin Basah-Kering (Wet-Dry Cooling Tower)[5][7].

1. Range

$$Range = (T_{in\ water} - T_{out\ water}) \dots (2.1) [2][6][8]$$

1. Tidak memerlukan pembersihan berkala dengan jangka waktu seperti menara pendingin basah.
 2. Tidak memerlukan zat kimia aditif yang banyak.
 3. Memenuhi syarat peraturan pengelolaan lingkungan mengenai pencemaran termal dan pencemaran udara pada lingkungan.
- Kelemahan menara pendingin kering ini adalah efisiensi yang kurang maksimal, sehingga mempengaruhi efisiensi siklus keseluruhan. Ada dua jenis menara pendingin kering, yaitu:

1. Menara pendingin kering langsung.
2. Menara pendingin kering tak langsung.

3. Menara Pendingin Basah-Kering (Wet-Dry Cooling Tower)

Menara pendingin ini merupakan gabungan dari menara pendingin basah dan menara pendingin kering dan mempunyai dua jalur udara paralel dan dua jalur udara seri. Bagian atas menara pendingin di bawah kipas adalah bagian kering yang berisi tabung-tabung bersirip. Bagian bawah adalah ruang yang lebar yang merupakan bagian yang basah terdiri dari bahan pengisi (*filling material*) sirkulasi air yang panas masuk melalui kepala di bagian tengah. Air berawal dari naik turun melalui bagian sirip dibagian kering. Kemudian meninggalkan bagian dan jatuh ke isian bagian basah menuju ke bak penampung air dingin. Sedangkan udara ditarik dalam dua arus pada bagian kering dan Kedua arus bercampur dan menyatu di dalam menara pendingin sebelum keluar. Menara pendingin basah kering ini mempunyai keunggulan yaitu:

Range = Selisih temperatur air masuk menara dan temperatur air keluar menara pendingin (°C)

$T_{in\ water}$ = Temperatur air masuk menara pendingin (°C)

$T_{out\ water}$ = Temperatur air keluar menara pendingin (°C)

2. Approach

$$Approach = (T_{out\ water} - T_{wet\ bulb\ (ambient)})$$

... (2.2) [2][6][8]

Approach = Selisih temperatur air keluar menara dan temperatur bola basah (lingkungan) (°C)

$T_{out\ water}$ = Temperatur air keluar menara pendingin (°C)

$T_{wet\ bulb\ (ambient)}$ = Entalpi temperatur bola basah (lingkungan) (°C)

3. Effectiveness Cooling Tower

$$Effectiveness_{Cooling\ Tower} = \frac{Range}{Approach + Range}$$

× 100 % ... (2.3) [2][6][8]

$Effectiveness_{CT}$ = Efektifitas menara pendingin (%)

Range = Selisih temperatur air masuk menara dan temperatur air keluar menara (°C)

Approach= Selisih temperatur air keluar menara dan temperatur bola basah (lingkungan) (°C)

4. Laju Aliran Massa Fluida Air (\dot{m}_{water})

$$\dot{m}_{water} = Q_{water} \times \rho_{water \text{ on temperature in water } CT} \dots (2.4)$$

\dot{m}_{water} = Laju aliran massa fluida air (kg/jam)

Q_{water} = Debit fluida air (m³/jam)

5. Kehilangan Air Akibat Evaporation Loss

$$(W_E)[2][6][8]$$

$$W_E = 0,00085 \times Q_{water} \dots (2.5)$$

6. Kehilangan Air Akibat Drift Loss (W_D)

$$W_D = 0,2 \% \times Q_{water} \dots (2.6)[2,6,8]$$

7. Kehilangan Air Akibat Blow Down (W_B)

$$W_B = \frac{W_E}{1,7 - 1} \dots (2.7)[2,6,8]$$

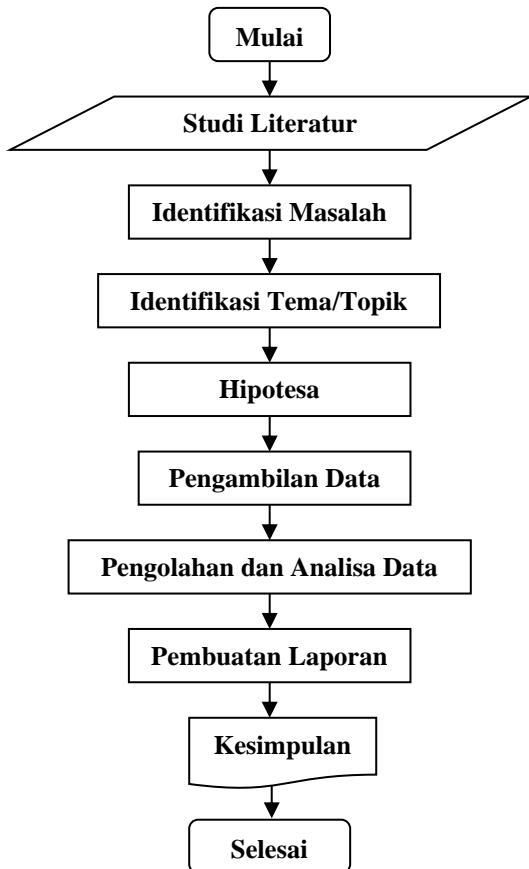
8. Make Up Water Cooling Tower

$$Make \ Up \ Water_{CT} = W_E + W_D + W_B \dots (2.8)[2,6,8]$$

III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir

Diagram penelitian ini seperti gambar 13.



Gambar 13. Diagram Alir.

Data

Data penelitian dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

Data Spesifikasi (Teoritis)

Data spesifikasi (teoritis) pada tabel 1.

Tabel 1. Data Spesifikasi (Teoritis) of Mechanical Draft-Unit 3 Steam Power Plant

No.	Parameter	Besaran
1.	T_{wb}	35 °C
2.	T_{db}	43 °C
3.	$T_{out \text{ air}}$	45 °C
4.	$T_{in \text{ water}}$	55 °C
5.	$T_{out \text{ water}}$	36 °C
6.	Q_{water}	7.000 m ³ /jam
7.	n_{motor}	1.500 rpm

Data Lapangan (Aktual)

Data lapangan (aktual) pada tabel 2.

Tabel 2. Data Lapangan (Aktual) of Mechanical Draft-Unit 3 Steam Power Plant

No.	Parameter	Besaran
1.	T_{wb}	33 °C
2.	T_{db}	37 °C
3.	$T_{out \text{ air}}$	39 °C
4.	$T_{in \text{ water}}$	42 °C
5.	$T_{out \text{ water}}$	34 °C
6.	Q_{water}	6.500 m ³ /jam
7.	n_{motor}	1.486 rpm

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Perhitungan Parameter Teoritis

a. Range

$$\begin{aligned} Range &= (T_{in \text{ water}} - T_{out \text{ water}}) \\ &= (55 \text{ °C} - 36 \text{ °C}) \\ &= 19 \text{ °C} \end{aligned}$$

b. Approach

$$\begin{aligned} Approach &= (T_{out \text{ water}} - T_{wet \text{ bulb (ambient)}}) \\ &= (36 \text{ °C} - 35 \text{ °C}) \\ &= 1 \text{ °C} \end{aligned}$$

c. Effectiveness Cooling Tower

$$\begin{aligned} Effectiveness_{Cooling \ Tower} &= \frac{Range}{Approach + Range} \times 100 \% \\ &= \frac{19 \text{ °C}}{1 \text{ °C} + 19 \text{ °C}} \times 100 \% \\ &= 95 \% \end{aligned}$$

d. Laju Aliran Massa Fluida Air (\dot{m}_{water})

$$\begin{aligned} \dot{m}_{water} &= Q_{water} \times \rho_{water \text{ on temperature in water } CT} \\ \dot{m}_{water} &= Q_{water} \times \rho_{water \text{ on } 55 \text{ °C}} \\ &= 7.000 \text{ m}^3/\text{jam} \times 985,443 \text{ kg/m}^3 \\ &= 6.898,101 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam}/3600 \text{ s} \\ &= 1.916,139 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

e. Kehilangan Air Akibat Evaporation Loss (W_E)

$$\begin{aligned} W_E &= 0,00085 \times Q_{water} \\ &= 0,00085 \times 7.000 \text{ m}^3/\text{jam} \times 19 \\ &= 113,05 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

f. Kehilangan Air Akibat Drift Loss (W_D)

$$\begin{aligned} W_D &= 0,2 \% \times Q_{water} \\ &= 0,2 \% \times 7.000 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 1.400 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

g. Kehilangan Air Akibat Blow Down (W_B)

$$W_B = \frac{W_E}{1,7 - 1}$$

$$= \frac{113,05 \text{ m}^3/\text{jam}}{1,7 - 1}$$

$$= 161,5 \text{ m}^3/\text{jam}$$

h. Make Up Water Cooling Tower

$$\text{Make Up Water}_{CT} = W_E + W_D + W_B$$

$$= 113,05 \text{ m}^3/\text{jam} + 1.400 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$+ 161,5 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1.674,55 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1.674,55 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ dm}^3/10^3$$

$$\text{m}^3 \times 1 \text{ liter}/1 \text{ dm}^3$$

$$= 1,67455 \text{ liter}/\text{jam}$$

$$\approx 1,675 \text{ liter}/\text{jam}$$

Perhitungan Parameter Aktual

a. Range

$$\text{Range} = (T_{in \text{ water}} - T_{out \text{ water}})$$

$$= (42 \text{ }^\circ\text{C} - 34 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 8 \text{ }^\circ\text{C}$$

b. Approach

$$\text{Approach} = (T_{out \text{ water}} - T_{wet \text{ bulb (ambient)}})$$

$$= (34 \text{ }^\circ\text{C} - 33 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$= 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

c. Effectiveness Cooling Tower

$$\text{Effectiveness}_{\text{Cooling Tower}} = \frac{\text{Range}}{\text{Approach} + \text{Range}} \times 100 \%$$

$$= \frac{8 \text{ }^\circ\text{C}}{1 \text{ }^\circ\text{C} + 8 \text{ }^\circ\text{C}} \times 100 \%$$

$$= 88,889 \%$$

d. Laju Aliran Massa Fluida Air (\dot{m}_{water})

$$\dot{m}_{\text{water}} = Q_{\text{water}} \times \rho_{\text{water on temperature in water CT}}$$

$$\dot{m}_{\text{water}} = Q_{\text{water}} \times \rho_{\text{water on } 42^\circ\text{C}}$$

$$= 6.500 \text{ m}^3/\text{jam} \times 991,175 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$= 6.442.637,5 \text{ kg}/\text{jam}$$

$$= 6.442.637,5 \text{ kg}/\text{jam} \times 1 \text{ jam}/3600 \text{ s}$$

$$= 1.789,622 \text{ kg}/\text{s}$$

e. Kehilangan Air Akibat Evaporation Loss (W_E)

$$W_E = 0,00085 \times Q_{\text{water}}$$

$$= 0,00085 \times 6.500 \text{ m}^3/\text{jam} \times 8$$

$$= 44,2 \text{ m}^3/\text{jam}$$

f. Kehilangan Air Akibat Drift Loss (W_D)

$$W_D = 0,2 \% \times Q_{\text{water}}$$

$$= 0,2 \% \times 6.500 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1.300 \text{ m}^3/\text{jam}$$

g. Kehilangan Air Akibat Blow Down (W_B)

$$W_B = \frac{W_E}{1,7 - 1}$$

$$= \frac{44,2 \text{ m}^3/\text{jam}}{1,7 - 1}$$

$$= 63,143 \text{ m}^3/\text{jam}$$

h. Make Up Water Cooling Tower

$$\text{Make Up Water}_{CT} = W_E + W_D + W_B$$

$$= 44,2 \text{ m}^3/\text{jam} + 1.300 \text{ m}^3/\text{jam} + 63,143 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1.407,343 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 1.407,343 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ dm}^3/10^3$$

$$\text{m}^3 \times 1 \text{ liter}/1 \text{ dm}^3$$

$$= 1,407343 \text{ liter}/\text{jam}$$

$$\approx 1,407 \text{ liter}/\text{jam}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh parameter *Cooling Tower* seperti tabel 3, tabel 4, dan 5:

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan *Range* dan *Approach*

Data Cooling Tower	T_{in} air (°C)	T_{out} air (°C)	T_{wb} (°C)	T_{db} (°C)	Range (°C)	Approach (°C)
Teoritis	55	36	35	43	19	1
Aktual	42	34	33	37	8	1

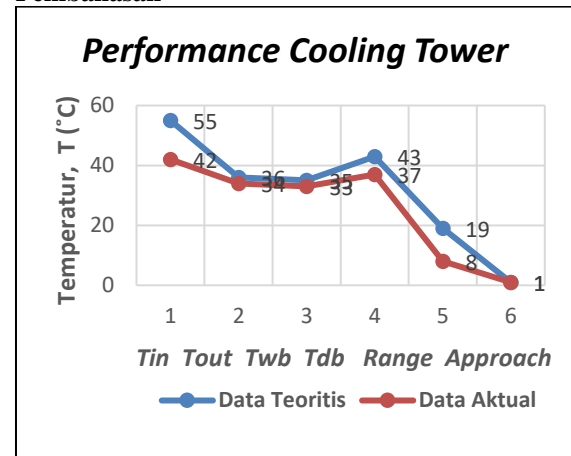
Tabel 4. Data Hasil Perhitungan *Evaporation Loss* (W_E), *Drift Loss* (W_D), *Blow down* (W_B), dan *Make Up Water*

Data Cooling Tower	W_E m ³ /jam	W_D m ³ /jam	W_B m ³ /jam	Make Up Water m ³ /jam
Teoritis	113,05	1.400	161,5	1.674,550
Aktual	44,2	1.300	63,143	1.407,343

Tabel 5. Data Hasil Perhitungan Laju Massa Aliran Air dan *Effectiveness*

Data Cooling Tower	\dot{m}_{water} (kg/s)	Effectiveness (%)
Teoritis	1.916,139	95
Aktual	1.789,622	88,889

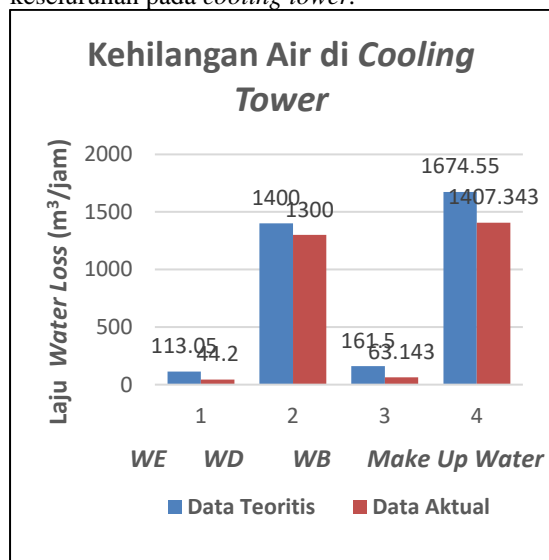
Pembahasan



Gambar 14. Grafik Kinerja *Cooling Tower*.

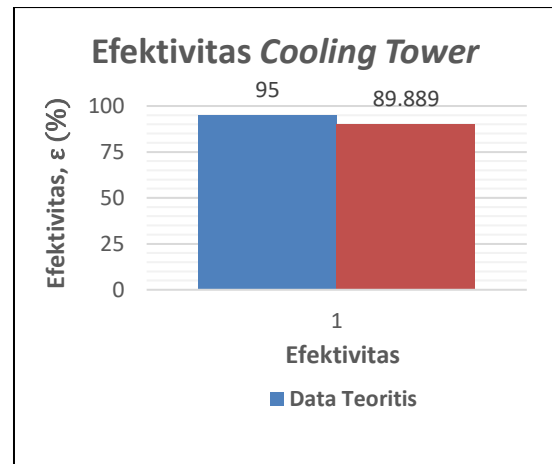
Gambar 14 memperlihatkan grafik parameter performa *cooling tower* pada *steam power plant*, dimana temperatur kerja masuk aktual akibat perpindahan panas jauh lebih rendah dibandingkan temperatur kerja masuk teoritis. Sedangkan temperatur kerja keluar aktual hampir mendekati temperatur kerja keluar teoritis, sehingga menghasilkan nilai *range* dengan kondisi *range* aktual jauh berbeda *range* teoritis dengan perbandingan 42,11%. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan *cooling tower* dalam menurunkan temperatur kerja selama proses operasi (aktual) dalam hal melepaskan sejumlah kalor (panas) ke lingkungan tidak menyamai atau mendekati kemampuan *cooling tower* pada kondisi teoritis. Artinya kemampuan menurunkan temperatur pada

kondisi aktual berkurang sebesar 42,11% terjadi penurunan 11 °C. Untuk kondisi *approach*, dimana temperatur kerja keluar hasil proses pendinginan terhadap temperatur *wet bulb (ambient)* baik dalam kondisi aktual dan teoritis adalah sama. Ini menunjukkan proses pendinginan (melepaskan kalor) dari air pada temperatur kerja masuk ke temperatur kerja keluar mendekati temperatur *wet bulb* atau temperatur lingkungan berjalan dengan baik. Sedangkan kondisi temperatur *dry bulb* (bola kering) untuk kondisi aktual lebih rendah kondisi teoritis. Bila temperatur bola kering aktual jauh lebih rendah teoritis membuktikan dan memberi indikasi bahwa kondisi lingkungan membantu mempercepat proses pendinginan sistem secara keseluruhan pada *cooling tower*.



Gambar 15. Grafik *Evaporation Loss (W_E)*, *Drift Loss (W_D)*, *Blow down (W_B)*, dan *Make Up Water*

Gambar 15 memperlihatkan grafik parameter laju *water loss* (kehilangan air) selama proses pendinginan di *cooling tower*. Proses pendinginan dilakukan dengan melakukan sistem evaporasi, yaitu dengan mengontakkan air hangat (air bertemperatur tinggi) dengan aliran udara dingin. Ciri-cirinya ada *make up water* dan *blowdown*. Karena proses ini merupakan proses evaporasi maka akan ada pemekatan konsentrasi *dissolved solid* pada air. Air yang hilang akibat tetesan (*drift loss*), dimana air meninggalkan *cooling tower* sebagai *droplets of water* (droplet air), seperti titik hujan. Sedangkan untuk menggantikan air yang hilang (kehilangan air) akibat proses evaporasi maka harus ada air *make up*, dan untuk menyeimbangkan pemekatan *dissolved solid* maka harus ada *blowdown*.



Gambar 16. Grafik Efektivitas *Cooling Tower*.

Gambar 16 memperlihatkan grafik efektivitas *cooling tower*. Kemampuan *cooling tower* dalam mendinginkan air hangat (air bertemperatur tinggi) akibat kontak pada pipa kondensor dalam menyerap sejumlah kalor menjadi air dingin (air bertemperatur rendah). Semakin besar kemampuan *cooling tower* mendinginkan air hangat (menurunkan temperatur air hangat) dengan kata lain nilai *range* besar mendekati nilai *approach*, maka semakin besar kemampuan *cooling tower* dalam menyerap panas atau melepaskan panas pada air hangat yang masuk ke *cooling tower*. Dengan kata lain proses evaporasi tinggi. Pada gambar 4.3 nilai efektivitas pada kondisi teoritis sebesar 95 % dan kondisi aktual 89,889 %. Efektivitas *cooling tower* kondisi aktual dibawah kondisi teoritis, terjadi penurunan sebesar 5,111 %. Dalam hal ini, efektivitas *cooling tower* kondisi aktual sebesar 94,62 % dari kondisi teoritis, artinya kemampuan *cooling tower* dapat dikategorikan baik.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, perhitungan dan analisa dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Performa *cooling tower* kondisi aktual jauh lebih rendah dibandingkan kondisi teoritis, dimana kemampuan *cooling tower* kondisi aktual jauh lebih rendah dalam menurunkan temperatur masuk air dibandingkan kondisi teoritis sebesar 42,11 % terjadi penurunan 11 °C, sehingga kemampuannya kurang optimal dan efektif
2. Kehilangan sejumlah air (*water loss*) di *cooling tower* akibat selama proses penguapan maka harus diganti dengan tersedianya sejumlah air melalui *make up water*. Untuk kondisi teoritis adalah 1.674,550 m³/jam dan kondisi aktual 1.407,434 m³/jam.
3. Efektivitas *cooling tower* kondisi teoritis 95 % dan kondisi aktual 89,889 %. Efektivitas *cooling tower* kondisi aktual 94,62% dari kondisi teoritis, dengan penurunan 5,111 % dan dikategorikan kondisi operasi baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. *Engineering Team*, 2010. **Buku Saku PLTU Bukit Asam**. PLTU Bukit Asam, PT. PLN (Persero) Sumbagsel, Sumatera Selatan.
- [2]. Shah, Ramesh K. and Sekulic, Dusan P. 2003. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. John Wiley & sons, Inc., New Jersey, USA.
- [3]. Cengel, Yunus A. & Boles, Michael A. 2006. *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th ed.* Mc Graw-Hill College, Boston, USA.
- [4]. El-Wakil, M.M. 1984. *Powerplant Technology*, Mc Graw-Hill Book Company, USA.
- [5]. Reynold, C. & Perkin. 1996. **Termodinamika Teknik**, PT. Erlangga, Jakarta.
- [6]. Stoecker, W. F., Jones W. J., & Hara S. 1996. **Refrigrasi dan Pengkondisian Udara**, PT. Erlangga, Jakarta.
- [7]. Putra, Raden Suhardi. 2015. **Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 pada PT XYZ, Tambun Bekasi**, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin (JTM), ISSN No. 2089-7235, Vol. 4, No. 2, pp 56-62, Jakarta.
- [8]. Siallagan, Hutriadi Pratama. 2017. **Analisa Kinerja Cooling Tower 8330 CT01 pada Water Treatment Plant-2 PT Krakatau Steel (Persero) Tbk**, Jurnal Teknik Mesin (JTM), ISSN No. 2549-2888, Vol. 6, No 3, pp 215-219, Jakarta.