

**EFEKTIVITAS KINERJA *COOLING TOWER* PADA UNIT DAUR ULANG
LIMBAH *STYROFOAM* DI PT KEMASAN CIPTA NUSANTARA**



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan
Pendidikan Diploma Tiga (D-3) Program Studi Teknik Kimia
Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang

ARWINNIE PUSPITA KUMALA

331 17 042

**PROGRAM STUDI D-3 TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR**

2020

LEMBAR PENGESAHAN PERUSAHAAN

Yang bertandatangan dibawah ini menyatakan

Nama : Arwinnie Puspita Kumala

Nim : 331 17 042

Jurusan : Teknik Kimia

Program Studi : D3 Teknik Kimia

Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang

Telah melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT Kemasan Cipta Nusantara selama 2 bulan terbilang dari tanggal 02 Maret 2020 s/d 30 April 2020. Demikian lembar pengesahan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, 10 Agustus 2020

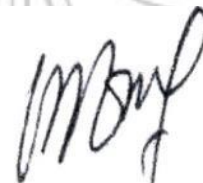
Mengesahkan,

Mengetahui,



DJOHANSYAH L.S.SD

PIMPINAN



MUHAMMAD BISRI

PEMBIMBING LAPANGAN

HALAMAN PENGESAHAN

⌘ QOIaf1 TI)gilS Akhir dengnn jufiul “Efeltifitas Kine a *Curling* 'Towrr Pada Unit Daur Ulang Limbah *Slyi* 'ofoani di PT Kemasan Cipla Nusantara” oleh Arwinnie Puspita Kuir ala NIM 331 17 042 dinyatakan telah diuji.

Makassar, 10 September 2020

Menyetujui,

Pembimbing I,



Ir. Rosalin, M.Si
NIP. 19620206 198803 2 001

Pembimbing II,



Drs. Heman Bangngalingo, M.T
NIP. 19700929 200212 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi D3 Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang



Muhammad Saleh S.T., M.Si
NIP. 19671008199303 1 001

HALAHIAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Senin tanggal 14 Oktober 2020, tim penguji ujian sidang laporan tugas akhir telah menerima hasil ujian sidang laporan tugas akhir oleh mahasiswa Arwinnie Puspita Kumala NIM 331 17 042 dengan judul “Efek4ifitas Kinerja *oolitig Tower* Pada Unit Daur Uiang Limbah *Styrofoam* di PT Kemasan Cipta Nusantara”.

Makassar, 14 Okuober 2020

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir:

- | | | |
|--------------------------------------|------------|---------|
| 1. Dr. Ridhawah, S.T., M.T | Ketua | (.....) |
| 2. Muh. Yusuf, STP., M.Si | Sekretaris | (.....) |
| 3. Dr. Nurbaeti, S.Ag. M.Pd.I | Anggota | (.....) |
| 4. Octovianus SR. Pasanda, S.T., M.T | Anggota | (.....) |
| 5. Ir. Rosalin, M.Si | Anggota | (.....) |
| 6. Drs. Herman Bangngalingo, M.T | Anggota | (.....) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan anugerah-Nya berupa pikiran, kekuatan, dan kesempatan sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini, penulis mencoba melakukan penelitian tentang “Efektifitas Kinerja *Cooling Tower* Pada Unit Daur Ulang Limbah *Styrofoam* di PT Kemasan Cipta Nusantara”. Pada pelaksanaan kerja praktek ini tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang penulis hadapi, termasuk ketersediaan literatur yang terkait dengan penelitian ini serta kemampuan penulis yang serba terbatas dengan segala kekurangannya. Namun, berkat bantuan berbagai pihak terutama pembimbing, laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Oleh karena itu, penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
2. Bapak Drs. Herman Bangngalino, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang sekaligus sebagai pembimbing II;
3. Bapak Muhammad Saleh, S.T.,M.Si. selaku Ketua Program Studi D-3 Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang;
4. Ibu Ir. Rosalin, M.Si selaku dosen pembimbing I;
5. Bapak Djohansyah, L.S.SD selaku Pimpinan PT Kemasan Cipta Nusantara di Jalan Kima Raya, Makassar;
6. Bapak Muhammad Bisri selaku pembimbing lapangan;

7. Orang tua beserta keluarga yang senantiasa memberikan dorongan dan dukungan baik moril maupun spiritual;
8. Rekan-rekan mahasiswa terkhusus kelas 3B yang selalu kompak selama kuliah di Politeknik Negeri Ujung Pandang;
9. Serta semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu yang telah ikut berpartisipasi hingga selesainya laporan tugas akhir ini.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdapat banyak kekeliruan dan masih memerlukan perbaikan yang menyeluruh, mengingat terbatasnya ilmu dan kemampuan yang dimiliki dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak sangat dibutuhkan demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak, baik bagi penyusun sendiri maupun bagi para pembaca pada umumnya.

Makassar, 10 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN SAMPUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| HALAMAN PENERIMAAN | iv |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR SINGKATAN | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xii |
| SURAT PERNYATAAN..... | xiii |
| RINGKASAN | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| BAB II TINJAUN PUSTAKA..... | 4 |
| 2.1 Pengertian Menara Pendingin | 4 |
| 2.2 Prinsip Kerja Cooling Tower. | 5 |
| 2.3 Fungsi Cooling Tower..... | 6 |
| 2.4 Konstruksi Menara Pendingin..... | 7 |
| 2.5 Klasifikasi Menara Pendingin | 9 |
| 2.6 Evaluasi Cooling Tower..... | 18 |
| 2.7 Operasi Humidifikasi | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 2.8 Suhu Cembul-Basah dan Pengukuran Kelembaban..... | 24 |
| BAB III METODE KEGIATAN | 27 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Kegiatan..... | 27 |
| 3.2 Metode Pengumpulan Data..... | 27 |
| 3.3 Teknik Analisa Data..... | 28 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 29 |
| 4.1 Hasil | 29 |
| 4.2 Pembahasan..... | 31 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 36 |
| 5.1 Kesimpulan | 36 |
| 5.2 Saran..... | 36 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 37 |
| LAMPIRAN..... | 38 |



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 4.1 Nilai <i>range</i> , <i>approach</i> , efektivitas, kehilangan penguapan (W_e), <i>drift loss</i> (W_d), <i>Blowdown</i> (W_b) dan air <i>make-up</i> | 29 |
| Tabel 4.2 Data Udara <i>Cooling Tower</i> | 30 |



DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1. Skema Cooling Tower..... | 5 |
| Gambar 2.2. Konstruksi Menara Pendingin..... | 9 |
| Gambar 2.3. Menara Pendingin Aliran Angin Alami Aliran Lawan Arah | 11 |
| Gambar 2.4. Menara Pendingin Aliran Angin Alami Aliran Silang..... | 11 |
| Gambar 2.5. Menara Pendingin Aliran Angin Mekanik | 14 |
| Gambar 2.6. Menara Pendingin Induced Draft Dengan Aliran Berlawanan..... | 14 |
| Gambar 2.7. Menara Pendingin Aliran Angin Gabungan..... | 15 |
| Gambar 4.1. Kurva Perbandingan <i>range</i> dan <i>approach</i> | 31 |
| Gambar 4.2. Kurva hubungan antara waktu (tanggal) dengan efektivitas <i>cooling tower</i> | 32 |
| Gambar 4.3. Kurva hubungan <i>humidity</i> udara masuk dan udara keluar vs tanggal..... | 33 |
| Gambar 4.3. Kurva hubungan antara volume lembab (V_H) udara masuk dan keluar vs tanggal | 34 |

DAFTAR SINGKATAN



| | |
|--------------|---|
| T_{wb} | Suhu Bola Basah |
| T_{db} | Suhu Bola Kering |
| $T_{w\ in}$ | Suhu Air Masuk Cooling Tower |
| $T_{w\ out}$ | Suhu Air Keluar Cooling Tower |
| W_e | Air yang Hilang Karena Penguapan (Evaporation loss) |
| W_d | Drift loss |
| W_b | Blowdown |
| RR | Laju Sirkulasi (Recirculation Rate) |
| W_m | Air Make-up |
| C.O.C | Cycle Of Concentration |
| RH | Relative Humidity |
| S_v | Spesific Volume Dry Air |
| S_{vs} | Saturated Volume |
| κ | Humidity |
| T_d | Temperatur Dew Point |
| v_H | Volume Lembab |
| H | Entalpi Total |
| M_A | Fraksi Air |
| M_B | Fraksi Udara |
| G | Kecepatan Udara |
| m | Massa Udara yang Berpindah |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| LAMPIRAN 1. DIAGRAM ALIR KEGIATAN..... | 39 |
| LAMPIRAN 2. DATA SPESIFIKASI COOLING TOWER PT KEMASAN... CIPTA NUSANTARA..... | 40 |
| LAMPIRAN 3. DATA DAN PERHITUNGAN..... | 41 |
| LAMPIRAN 4. PENENTUAN DATA UDARA DENGAN PSIKOMETRIK CHART..... | 44 |



SIKIP i' i'.ItNYATAAN

"y" , bcr1ant]#lanban alvali iiii:

Nama

""" !' isbila Ktimala

NIM

33117042

ye tk«n dClit/ n scbcnar—bct1XFnyahaliwa .segala pcmyataan dalam laporan tugas
ak ! i' i' Fi. y ing berj«d I " sf rzkfIV|fgs Kiferja 'loWeF Pada Unit Daur Ulang
Limbah *Styrofoam* DI PT Kemasan Cipta Nusantara” merupakan gagasan, hasil Farya
sityil Sella iFi dcngaii arah an pembimbin g, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa
pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat
diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang
diterbitkan oleh penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar
pustaka laporan tugas akhir ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang
ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 15 September 2020



Arwinnie Puspita Kumala (33117042)

RINGKASAN

Pada pengoperasian unit daur ulang limbah *styrofoam* PT Kemasan Cipta Nusantara membutuhkan suatu sistem air sirkulasi sebagai alat penukar kalor yang berfungsi untuk menyediakan air pendingin. Cooling tower di PT Kemasan Cipta Nusantara telah beroperasi selama kurang lebih tiga tahun maka perlu dilakukan suatu analisis untuk mengetahui efektivitas, kebutuhan air make-up dan nilai kelembaban udara yang masuk dan keluar dari cooling tower yang sesuai dengan kondisi operasional unit ini.

Metode yang digunakan adalah mengumpulkan data-data operasional dan studi pustaka yang diperlukan pada objek yang diteliti. Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan langsung dilapangan, melakukan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dan studi pustaka. Data tersebut diperoleh dalam empat belas hari kerja kemudian diolah berdasarkan persamaan-persamaan yang didapatkan dari studi pustaka.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efektivitas kinerja cooling tower berdasarkan nilai *range* dan *approach* di PT Kemasan Cipta Nusantara Unit daur ulang limbah *styrofoam* berkisar antara 80,52% sampai 86,06%, kebutuhan air *make-up* berkisar 1,92 m³/jam sampai 2,42 m³/jam dan nilai *humidity* udara masuk lebih rendah dibandingkan volume lembab udara keluar cooling tower yaitu saat udara masuk nilai *humidity* yang didapatkan sebesar 0,0185 kg/kg udara kering dan *humidity* udara keluar sebesar 0,021 kg/kg udara kering.

Kata Kunci : *Cooling tower*, efektivitas, air make-up dan *humidity*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Styrofoam atau yang biasa disebut *polystirena foam* merupakan salah satu jenis stirena yang paling populer untuk digunakan sebagai pengemas barang-barang yang rentan rusak maupun untuk pengemas bahan makanan. PT Kemasan Cipta Nusantara yang berlokasi di Jalan Kima Raya, kota Makassar merupakan perusahaan penghasil *styrofoam* berupa kemasan gabus putih, *styrofoam* lembaran dan juga *styrofoam lunch box* yang telah teruji dan terdaftar pada Standard Nasional Indonesia (SNI). Saat memproduksi boks kemasan, tentunya juga menghasilkan limbah *styrofoam* berupa sisa potongan *styrofoam* maupun boks *styrofoam* yang cacat. Limbah *styrofoam* merupakan limbah yang berbahaya terhadap lingkungan karena tidak bisa diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di dalam tanah dan dapat mencemari ekosistem yang ada pada daratan maupun perairan.

PT Kemasan Cipta Nusantara memiliki unit pengolahan limbah *styrofoam*. Limbah *styrofoam* ini tidak dibuang langsung ke alam melainkan didaur ulang menjadi biji *polystirene* yang dapat digunakan kembali dan nantinya memiliki nilai jual. Dalam proses daur ulang limbah *styrofoam* di PT Kemasan Cipta Nusantara membutuhkan suatu sistem air sirkulasi yang berfungsi untuk menyediakan air pendingin sebagai tempat pembuangan kalor ke lingkungan. Air yang mengalami perubahan temperatur ini tidak dapat langsung dibuang ke sungai atau ke lingkungan, karena dapat menyebabkan pengaruh terhadap lingkungan dan tidak memenuhi syarat Analisa Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL).

Pada instalasi PT Kemasan Cipta Nusantara menggunakan sistem air sirkulasi dengan *cooling tower* sebagai alat penukar kalor yang berfungsi menyediakan air pendingin untuk alat *recycle ps*. *Cooling tower* di PT Kemasan Cipta Nusantara telah beroperasi selama kurang lebih tiga tahun maka perlu dilakukan suatu analisis untuk mengetahui efektivitas dari *cooling tower* yang sesuai dengan kondisi operasional unit ini. Kinerja *cooling tower* mempunyai peranan penting terhadap pertukaran panas yang terjadi, apabila *cooling tower* tidak maksimal dalam mendinginkan air yang dialirkan maka penurunan suhu juga tidak maksimal. Akibatnya suhu pada tangki simulasi reaktor akan naik yang bisa mengakibatkan *shutdown* (Awwaluddin,2012).

Menurut Laboratorium Nasional Pacific Northwest (2011), pengukuran efektivitas kinerja alat *cooling tower* dapat dilakukan dengan memperhatikan dua hal penting yaitu nilai *range* dan nilai *approach*. Dimana nilai *range* merupakan perbedaan antara suhu air masuk dan suhu air keluar dari *cooling tower*. Sedangkan, *approach* merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar *cooling tower* dan suhu bola basah (*wet bulb*). Kebutuhan air pendingin pada unit menara pendingin juga dapat diketahui melalui perhitungan air *make-up*, sehingga air yang disuplai dapat sesuai dengan kebutuhan alat tersebut.

Melalui kerja praktek ini, dikumpulkan data-data untuk mengetahui efektivitas kinerja dari alat *cooling tower* di PT Kemasan Cipta Nusantara dan menghitung kebutuhan air *make-up* yang selanjutnya dapat menjadi masukan pada PT Kemasan Cipta Nusantara untuk dapat menindaklanjuti *cooling tower* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang ada pada *cooling tower* unit daur ulang *styrofoam* dirumuskan sebagai berikut.

1. Berapa nilai efektivitas pertukaran panas dari *cooling tower*?
2. Berapa kebutuhan air *make-up cooling tower*?
3. Berapa nilai kelembaban udara masuk dan udara keluar dari *cooling tower*?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari kerja praktek yang dilaksanakan di PT Kemasan Cipta Nusantara adalah :

1. Menentukan nilai efektivitas pertukaran panas dari *cooling tower*.
2. Menentukan kebutuhan air *make-up* pada *cooling tower*.
3. Menentukan nilai kelembaban udara yang masuk dan udara keluar dari *cooling tower*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari kerja praktek yang dilaksanakan adalah:

1. Dapat mengetahui nilai efektivitas dari alat *cooling tower* di PT Kemasan Cipta Nusantara.
2. Memberikan informasi dan masukan kepada pembaca maupun penulis sebagai pengetahuan dari pengolahan data *cooling tower*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Menara Pendingin

Menara pendingin didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara. Dimana alat ini berfungsi untuk mendinginkan air dengan cara kontak langsung antara air dan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Dalam kebanyakan menara pendingin yang bekerja pada sistem pendinginan air menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan udara vertikal ke atas melintasi menara. Prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* (El Wakil, 1992).

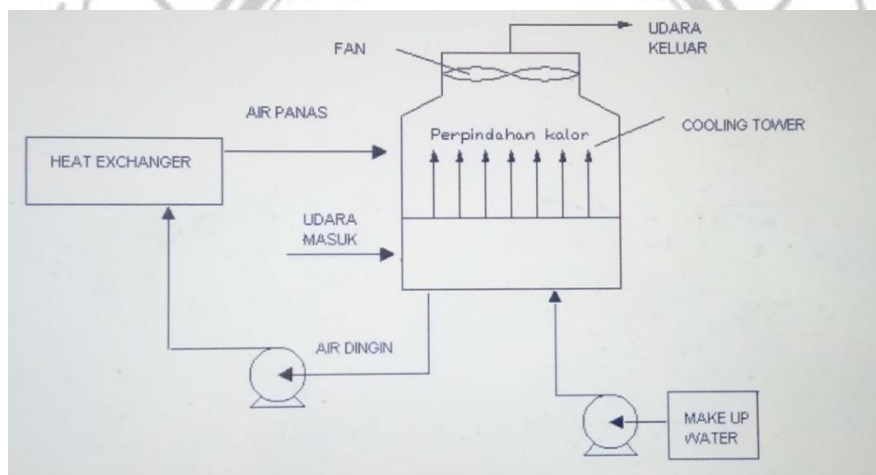
Range merupakan perbedaan suhu air yang masuk menara pendingin dengan tingkat suhu air yang keluar dari menara pendingin atau selisih antara suhu air panas dan suhu air dingin, sedangkan *approach* adalah perbedaan antara temperatur air keluar menara pendingin dengan temperatur bola basah udara yang masuk atau selisih antara suhu air dingin dan temperatur bola basah (*wet bulb*) dari udara atmosfer. Pengukuran temperatur udara dilakukan dengan menggunakan termometer biasa atau yang sering dikenal sebagai temperatur bola kering (*dry bulb temperature*), sedangkan temperatur bola basah (*wet bulb temperature*) adalah temperatur yang bolanya diberi kasa basah, sehingga jika air menguap dari kasa dan bacaan suhu pada termometer menjadi lebih rendah daripada temperatur bola kering (Handoyo, 2015).

Pada kelembaban tinggi, penguapan akan berlangsung lambat dan temperatur bola basah (T_{wb}) identik dengan temperatur bola kering (T_{db}). Namun pada

kelembaban rendah sebagian air akan menguap, jadi temperatur bola basah akan semakin jauh perbedaannya dengan temperatur bola kering.

2.2 Prinsip Kerja *Cooling tower*

Prinsip kerja dari menara pendingin yaitu berdasarkan pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor. Dalam menara pendingin, perpindahan kalor berlangsung dari air ke udara. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan (Nasution, 2010).



Gambar 2.1. Skema *Cooling tower*
Sumber : Nasution, 2010

Prinsip kerja menara pendingin dapat dilihat pada gambar 2.1. Prinsip kerja menara pendingin menurut Nasution (2010), yaitu air dari bak/basin dipompa menuju heater untuk dipanaskan lalu dialirkan ke menara pendingin. Air panas yang keluar tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* atau *blower* yang terpasang pada bagian atas menara pendingin, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi. Sistem ini

sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan suhu kemudian ditampung ke dalam bak/basin. Pada menara pendingin juga dipasang katup *make-up water* yang berfungsi untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* tersebut sedang berlangsung.

2.3 Fungsi Cooling tower

Cooling tower sangat dibutuhkan oleh industri sebab *cooling tower* merupakan bagian dari utilitas yang banyak digunakan. Handoyo (2015) berpendapat bahwa mesin pendingin akan melepaskan kalor melalui kondensor, refrigeran melepaskan kalornya ke air pendingin sehingga air tersebut menjadi panas. Selanjutnya air panas ini dipompa menuju menara pendingin. Tujuan menara pendingin ialah menyerap banyak kalor dan menyediakan banyak air pendingin untuk digunakan pada instalasi pendingin dengan kata lain menara pendingin mempunyai fungsi menurunkan suhu air dan mengekstrak kalornya menuju atmosfer. Menara pendingin mampu menurunkan suhu air lebih rendah daripada mesin pendingin lain yang menggunakan metode pendingin udara, seperti radiator pada kendaraan bermotor.

2.4 Konstruksi Menara Pendingin

Menara pendingin atau cooling tower terbentuk dari beberapa komponen (Gambar 2.2). Suhardi (2015) menjelaskan komponen dari *cooling tower* jenis aliran angin tarik (*induced draft counterflow cooling tower*) secara garis besar adalah sebagai berikut.

1. Kipas (*fan*)

Kipas merupakan bagian terpenting dari sebuah menara pendingin karena berfungsi untuk menarik udara dingin dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Jika kipas tidak berfungsi maka kinerja menara pendingin tidak akan optimal. Kipas digerakkan oleh motor listrik yang dikopel langsung dengan poros kipas.

2. Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)

Kerangka pendukung menara berfungsi untuk mendukung menara pendingin agar dapat berdiri kokoh dan tegak. *Tower supporter* terbuat dari baja.

3. Rumah menara pendingin (*casing*)

Rumah menara pendingin (*casing*) harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca dan umur pakai (*life time*) yang lama. *Casing* terbuat dari seng.

4. Pipa *sprinkler*

Pipa *sprinkler* merupakan pipa yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada menara pendingin, sehingga perpindahan kalor air dapat

menjadi efektif dan efisien. Pipa *sprinkler* dilengkapi dengan lubang-lubang kecil untuk menyalurkan air.

5. Penampung air (*water basin*)

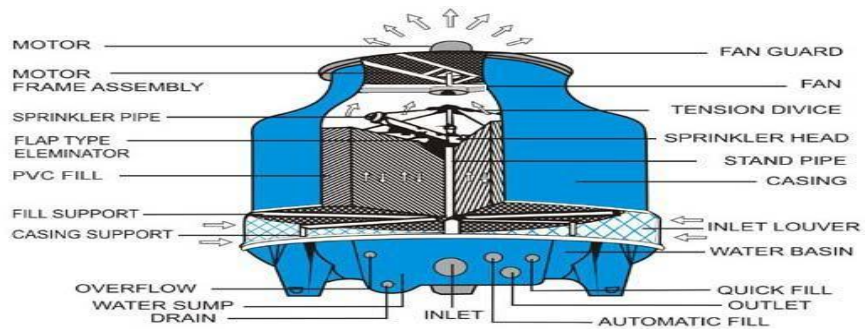
Water basin berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor. *Water basin* terbuat dari seng.

6. Lubang udara (*inlet louver*)

Inlet louver berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui lubang-lubang yang ada. Melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan didistribusikan. *Inlet louver* terbuat dari seng.

7. Bahan Pengisi (*filling material*)

Filling material merupakan bagian dari menara pendingin yang berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara yang bergerak naik. Air masuk yang mempunyai suhu yang cukup tinggi (33°C) akan disemprotkan ke *filling material*. Pada *filling material* inilah air yang mengalir turun ke *water basin* akan bertukar kalor dengan udara segar dari atmosfer yang suhunya (28°C). Oleh sebab itu, *filling material* harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. *Filling material* harus kuat, ringan dan tahan lapuk.



Gambar 2.2. Konstruksi menara pendingin
Sumber : Suhardi, 2015

2.5 Klasifikasi Menara Pendingin

Ada banyak jenis klasifikasi menara pendingin, namun pada umumnya pengklasifikasian menara pendingin dilakukan berdasarkan sirkulasi air yang terdapat di dalamnya. Menurut Singham (1990), menara pendingin dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

1. Menara pendingin basah (*wet cooling tower*)
2. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*)
3. Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*)

Setiap jenis menara pendingin ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

2.5.1. Menara Pendingin Basah (*Wet Cooling tower*)

Menara pendingin basah 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 ini biasanya mengarah miring ke bawah supaya air tidak keluar.

Oleh karena ada pencampuran antara air dan udara terjadi perpindahan kalor sehingga air menjadi dingin. Air yang telah dingin itu berkumpul di kolam atau bak di dasar menara dan dari situ diteruskan ke dalam kondensor atau dibuang keluar, sehingga udara sekarang kalor dan lembab keluar dari atas menara (Singham, 1990).

Berdasarkan literatur El. Wakil (1992), menara pendingin basah dapat dibagi menjadi:

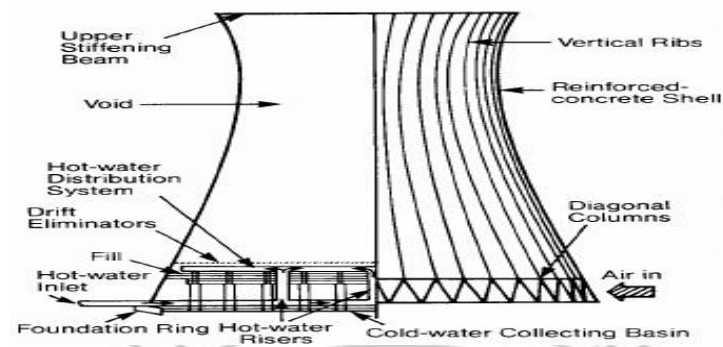
1) Menara Pendingin Basah Aliran Angin Alami (*Natural-Draft Cooling Tower*)

Menara pendingin aliran angin alami pada mulanya berkembang di Eropa. Beberapa unit pertama dibangun di Belanda pada awal abad ke-19 yang terbuat dari kayu dan akhirnya dibuat dari beton bertulang seperti yang banyak digunakan sekarang ini. Pada awalnya unit ini berbentuk silinder dan akhirnya berbentuk hiperbola yang umum dipakai dewasa ini. Alat ini digunakan secara luas terutama di negara Inggris dan Amerika, unit pertama dibuat tahun 1972. Menara pendingin aliran angin alami tidak menggunakan kipas (*fan*). Aliran udaranya bergantung semata-mata pada tekanan dorong alami. Pada menara pendingin alami ini tidak ada bagian yang bergerak, udara mengalir keatas akibat adanya perbedaan massa jenis antara udara atmosfer dengan udara kalor lembab di dalam menara pendingin yang bersuhu lebih tinggi daripada udara atmosfer di sekitarnya.

Adanya perbedaan massa jenis, maka timbul tekanan dorong yang mendorong udara ke atas. Biasanya menara pendingin tipe ini mempunyai tinggi yang besar dan dapat mencapai ketinggian puluhan meter.

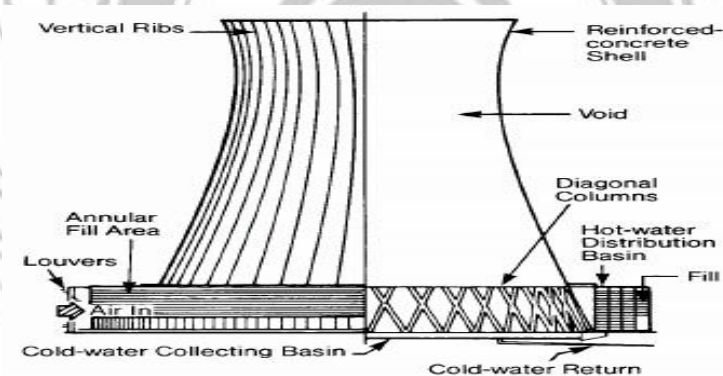
Menara pendingin aliran angin alami dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah (Gambar 2.3)



Gambar 2.3. Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah
Sumber : Laboratorium Nasional Pacific Northwest, 2011

b. Menara pendingin aliran angin alami aliran silang (Gambar 2.4)



Gambar 2.4. Menara pendingin aliran angin alami aliran silang
Sumber : Laboratorium Nasional Pacific Northwest, 2011

Dari kedua jenis menara pendingin ini, menara pendingin aliran angin alami aliran silang kurang disukai karena lebih sedikit memberi tahanan terhadap aliran udara di dalam menara, sehingga kecepatan udaranya lebih tinggi dan mekanisme perpindahan kalornya kurang efisien.

Menara aliran angin alami aliran lawan arah lebih sering digunakan karena mempunyai keunggulan-keunggulan sebagai berikut:

- a. Memiliki konstruksi yang kuat dan kokoh sehingga lebih tahan terhadap tekanan angin
- b. Mampu beroperasi di daerah dingin maupun lembab
- c. Dapat digunakan untuk instalasi skala besar.

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

Pada menara pendingin aliran angin mekanik (Gambar 2.5), udara mengalir karena adanya satu atau beberapa kipas (*fan*) yang digerakkan secara mekanik. Fungsi kipas di sini adalah untuk mendorong udara (*forced-draft*) atau menarik udara melalui menara (*induced-draft*) yang dipasang pada bagian bawah atau atas menara (Gambar 2.6). Berdasarkan fungsi kipas yang digunakan menara pendingin aliran angin mekanik dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

- a. Tipe aliran angin dorong (*forced-draft*)
- b. Tipe aliran angin tarik (*induced draft*)

Pada tipe aliran angin dorong (*forced-draft*), kipas yang dipasang pada bagian bawah, mendorong udara melalui menara. Jenis ini secara teoritis lebih disukai karena kipas beroperasi dengan udara yang lebih dingin, sehingga konsumsi daya menjadi lebih kecil. Akan tetapi, berdasarkan pengalaman jenis ini memiliki masalah-masalah yang berkaitan dengan distribusi udara, kebocoran dan resirkulasi udara panas dan lembab kembali ke menara, serta masalah pembekuan pada masukan kipas ketika musim dingin. Mengingat banyaknya permasalahan di atas maka pada saat ini menara pendingin aliran angin mekanik yang sering

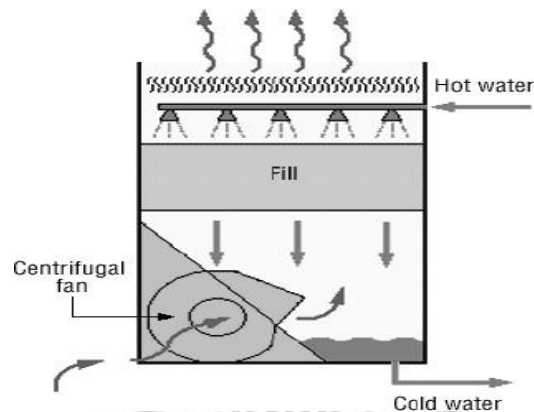
digunakan pada instalasi adalah tipe aliran angin tarik (*induced draft*). Pada menara pendingin aliran tarik, udara masuk dari sisi menara melalui bukaan-bukaan yang cukup besar pada kecepatan rendah dan bergerak melalui bahan pengisi (*filling material*). Kipas dipasang pada puncak menara dan membuang udara panas dan lembab ke atmosfer. Aliran udara masuk menara pada dasarnya horizontal, tetapi aliran di dalam bahan pengisi (*filling material*) ada yang horizontal seperti yang terdapat pada menara pendingin aliran silang (*cross flow*) dan ada pula yang vertikal seperti menara pendingin aliran lawan arah (*counter flow*). Aliran lawan arah lebih sering dipakai dan dipilih karena efisiensi termalnya lebih baik daripada aliran silang (Fauzi, 2016).

Keunggulan menara pendingin aliran angin mekanik adalah:

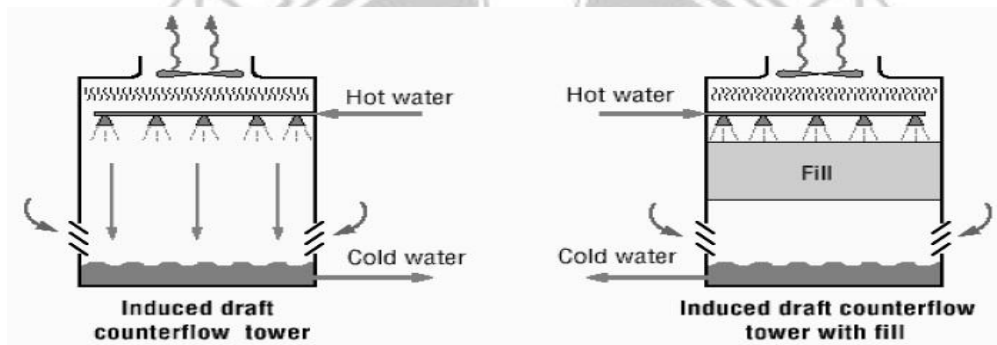
- a. Terjaminnya jumlah aliran udara dalam jumlah yang diperlukan pada segala kondisi beban dan cuaca.
- b. Biaya investasi dan konstruksinya lebih rendah
- c. Ukuran dimensinya lebih kecil.

Kelemahan menara pendingin aliran angin mekanik adalah:

- a. Kebutuhan daya yang besar
- b. Biaya operasi dan pemeliharaan yang besar
- c. Bunyinya lebih ribut.



Gambar 2.5. Menara pendingin aliran angin mekanik
 Sumber : Fauzi, 2016.

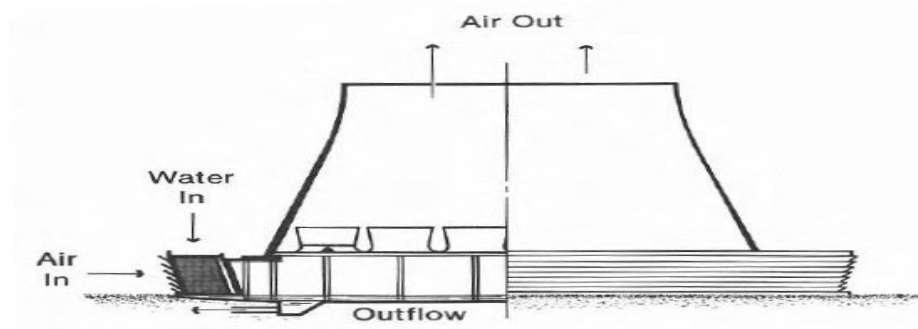


Gambar 2.6. Menara pendingin *induced draft* dengan aliran berlawanan
 Sumber : Singham, 1990.

3. Menara Pendingin Aliran Angin Gabungan (*Combined Draft Cooling tower*)

Menara pendingin aliran angin alami biasanya mempunyai ukuran yang besar dan membutuhkan lahan yang luas, tetapi dengan konsumsi daya dan biaya operasi yang kecil. Sebaliknya menara pendingin aliran angin mekanik ukurannya lebih kecil, namun membutuhkan daya yang besar. Oleh sebab itu, kedua hal tersebut digabungkan di dalam menara pendingin aliran angin gabungan (*combined draft cooling tower*), (Gambar 2.7). Menara ini disebut juga menara pendingin hiperbola berkipas (*fan assisted hyperbolic tower*) atau hibrida (*hybrid tower*). Menara hibrida terdiri dari cangkang beton, tetapi ukurannya lebih kecil

dimana diameternya sekitar dua pertiga diameter menara aliran angin mekanik. Di samping itu, terdapat sejumlah kipas listrik yang berfungsi untuk mendorong angin. Menara ini dapat dioperasikan pada musim dingin tanpa menggunakan kipas, sehingga lebih hemat listrik.



Gambar 2.7. Menara pendingin aliran angin gabungan
Sumber : Singham, 1990.

2.5.2 Menara Pendingin Kering (*Dry Cooling tower*)

Menara pendingin kering (*dry cooling tower*) adalah menara pendingin yang air sirkulasinya dialirkan di dalam tabung-tabung bersirip yang dialiri udara. Semua kalor yang dikeluarkan dari air sirkulasi diubah. Menara pendingin kering dirancang untuk dioperasikan dalam ruang tertutup.

Menara pendingin jenis ini banyak mendapat perhatian akhir-akhir ini karena keunggulannya yaitu:

- a) Tidak memerlukan pembersihan berkala sesering menara pendingin basah.
- b) Tidak memerlukan zat kimia aditif yang banyak
- c) Memenuhi syarat peraturan pengelolaan lingkungan mengenai pencemaran termal dan pencemaran udara pada lingkungan.

Meskipun begitu, menara pendingin kering mempunyai beberapa kelemahan, yaitu efisiensinya lebih rendah, sehingga mempengaruhi efisiensi siklus keseluruhan.

Ada dua jenis menara pendingin kering, yaitu:

1) Menara pendingin kering langsung (*direct dry-cooling tower*)

Menara pendingin kering jenis langsung merupakan gabungan antara kondensor dan menara pendingin. Uap buangan turbin dimasukkan ke kotak uap melalui talang-talang besar supaya jatuh pada tekanan yang tidak terlalu besar dan dapat terkondensasi pada waktu mengalir ke bawah melalui sejumlah besar tabung atau kumparan bersirip. Tabung ini didinginkan dengan udara atmosfer yang mengalir di dalam atmosfer. Kondensat mengalir karena gaya gravitasi ke penampung kondensat dan dipompakan lagi ke sistem air umpan instalasi dengan bantuan pompa kondensat. Terdapat pula sistem untuk menyingkirkan gas dan mencegah pembekuan pada cuaca dingin.

Beberapa kelemahan dari menara pendingin jenis ini adalah:

- a. Hanya dapat beroperasi dengan volume besar.
- b. Memerlukan talang-talang ukuran besar.

2) Menara pendingin kering tak langsung (*indirect dry-cooling tower*)

Menara pendingin jenis tak langsung dapat dibagi menjadi dua jenis lagi, yaitu:

- a. Menara pendingin kering tak langsung dengan menggunakan kondensor permukaan konvensional.

- b. Menara pendingin kering tak langsung dengan sirkulasi bahan pendingin 2 fase.

2.5.3. Menara Pendingin Basah-Kering (*Wet-Dry Cooling tower*)

Menara pendingin basah-kering (*wet-dry cooling tower*) merupakan gabungan antara menara pendingin basah dan menara pendingin kering. Menara pendingin ini mempunyai dua jalur udara paralel dan dua jalur udara seri. Bagian atas menara di bawah kipas adalah bagian kering yang berisi tabung-tabung bersirip. Bagian bawah adalah ruang yang lebar yang merupakan bagian yang basah yang terdiri dari bahan pengisi (*filling material*). Air sirkulasi yang panas masuk melalui kepala yang terletak di tengah. Air mula-mula mengalir naik-turun melalui tabung bersirip di bagian kering, kemudian meninggalkan bagian kering dan jatuh ke isian di bagian basah menuju bak penampung air dingin. Sedangkan udara ditarik dalam dua arus melalui bagian kering dan basah. Kedua arus menyatu dan bercampur di dalam menara sebelum keluar (Nasution, 2010).

Oleh karena arus pertama dipanaskan secara kering dan keluar dalam keadaan yang kering (kelembaban relatif rendah) daripada udara sekitar, sedangkan arus kedua biasanya jenuh.

Menurut Nasution (2010) menara pendingin basah-kering mempunyai keunggulan, yaitu sebagai berikut ini.

- 1) Udara keluar tidak jenuh sehingga mempunyai kepanasan yang lebih sedikit
- 2) Karena airnya mengalami pendinginan awal di bagian kering, penyusutan karena penguapan jauh berkurang, demikian juga dengan kebutuhan air tambahan.

2.6 Evaluasi *Cooling tower*

Menurut Laboratorium Nasional Pasific Northwest (2011), *Cooling tower* dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* saat ini terhadap nilai desain, identifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan. Untuk mengukur performansi maka perlu beberapa parameter operasional *cooling tower*, antara lain :

- a. Suhu udara bola basah/ *wet bulb* (T_{wb})
- b. Suhu udara bola kering/*dry bulb* (T_{db})
- c. Suhu air masuk menara pendingin (T_w in)
- d. Suhu air keluar menara pendingin (T_w out)
- e. Suhu udara keluar (T out)

Parameter terukur tersebut digunakan untuk menentukan kinerja *cooling tower* dengan beberapa cara, yaitu sebagai berikut ini.

a. *Cooling Range*

Cooling range merupakan suatu perbedaan antara suhu air masuk dan suhu air keluar dari *cooling tower*. *Cooling range* yang tinggi menunjukkan bahwa *cooling tower* tersebut mampu menurunkan suhu dari air secara efektif dan kinerjanya bagus. Secara matematis nilai *cooling range* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Range CT } (^{\circ}\text{C}) &= \text{Suhu air masuk menara pendingin} \\ &\quad \text{pendingin} \\ &= T_w \text{ in } (^{\circ}\text{C}) - T_w \text{ out } (^{\circ}\text{C}). \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

b. Approach

Approach merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar *cooling tower* dan suhu bola basah (*wet bulb*). Semakin rendah nilai *approach* maka semakin baik kinerja dari *cooling tower*. Rumus yang digunakan untuk mengetahui nilai *approach* yang dapat dicapai oleh *cooling tower* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Approach CT } (^{\circ}\text{C}) &= \text{Suhu keluar CW} - \text{Suhu udara bola basah} \\ &= T_w \text{ out } (^{\circ}\text{C}) - T_{wb} (^{\circ}\text{C}). \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

c. Efektivitas

Efektivitas merupakan *perbandingan range* dan *range ideal* (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb ambient*. Semakin tinggi nilai perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas *cooling tower*.

$$\text{Efektivitas CT (\%)} = \frac{(\text{□□□□□})}{(\text{□□□□□} + \text{□□□□□□□h})} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

d. Kehilangan Penguapan (*Evaporation Loss*)

Evaporasi merupakan suatu proses penguapan untuk melepaskan panas dalam air pendingin. Sebagian air pendingin akan menguap sambil membawa panas sehingga air pendingin yang tertinggal akan menjadi dingin dan dapat dipergunakan lagi. Secara teoritis, jumlah penguapan mencapai 1,8 m³ untuk setiap 10.000.000 kkal kalor yang dibuang ke atmosfer.

Kehilangan penguapan dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Perry, 1984).

$$W_e, \text{ m}^3/\text{jam} = 0,00085 \times \text{RR} \times (T_w \text{ In} - T_w \text{ Out}) \times 1,8 \dots\dots\dots (4)$$

e. *Air Make-up*

Air make-up adalah air yang ditambahkan kedalam sistem menara pendingin yang berasal dari *Clarifier* yang berguna untuk mengganti air yang hilang karena penguapan (evaporasi), *blowdown* pada menara pendingin dan pada sistem alat yang dimana air terserap oleh panas, sehingga dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut (Perry, 1984).

$$W_m, \text{ m}^3/\text{jam} = W_e + W_d + W_b \dots\dots\dots (5)$$

f. *Drift Loss*

Drift Loss adalah air yang keluar bersama udara pada *cooling tower* tetapi belum/tidak terbentuk uap, jadi bukan karena penguapan. Kerugian *Drift* bervariasi antara 0,1 dan 0,2% aliran sirkulasi. Hal ini dapat serendah 0,01% dari aliran sirkulasi, jika menara pendingin memiliki *drift eliminator windage*. Saat ini hampir spesifikasi pengguna akhir mengasumsikan kehilangan karena kerugian ini sebesar 0,2% (Perry, 1984).

$$W_d = 0,2\% \times RR \text{ (m}^3/\text{jam)} \dots\dots\dots (6)$$

g. Siklus Konsentrasi / *Cycles of Concentration* (C.O.C)

Penguapan mengakibatkan konsentrasi padatan meningkat karena hanya air murni yang dapat menguap, sementara padatan yang terdapat di dalamnya tidak ikut menguap. Siklus konsentrasi merupakan ukuran kenaikan padatan dalam air menara pendingin karena penguapan atau dengan kata lain siklus konsentrasi merupakan perbandingan padatan terlarut dalam air sirkulasi terhadap padatan terlarut dalam air *make-up* .

h. Kehilangan *Blowdown* Menara Pendingin

Blowdown merupakan tempat keluarnya air dari menara pendingin yang diakibatkan oleh penguapan sehingga konsentrasi padatan air pendingin bertambah. Semakin banyak penguapan maka semakin tinggi konsentrasi padatan. Untuk menjaga padatan pada tingkat tertentu, maka sebagian air perlu dikeluarkan dari sistem secara kontinyu. Air yang dibuang inilah yang disebut dengan *blowdown*. Untuk menghitung air yang dibuang atau *blowdown* dapat digunakan rumus sebagai berikut (Perry, 1984).

$$W_b = \frac{W \cdot C}{C - C_1} \dots\dots\dots(7)$$

2.7 Operasi Humidifikasi

Kelembaban atau *humidity* ialah massa uap yang dibawa oleh satu satuan massa gas bebas-uap. Menurut definisi ini, kelembaban hanya bergantung pada tekanan-bagian uap di dalam campuran bila tekanan total dibuat tetap. Jadi tekanan-bagian uap adalah p_A atm, rasio molal antara uap dan gas pada 1 atm adalah $p_A/(1-p_A)$ (McCabe, 1993).

Kelembaban dihubungkan dengan fraksi mol di dalam fase gas oleh persamaan

$$H = \frac{p_A/p}{1 - p_A/p} \dots\dots\dots(8)$$

Oleh karena H/p biasanya kecil dibandingkan dengan $1/p$, y biasanya dianggap berbanding lurus dengan H.

Gas jenuh (*saturated gas*) ialah gas di mana uap berada dalam keseimbangan dengan zat cair pada suatu gas. Tekanan-bagian uap di dalam gas jenuh sama dengan tekanan-uap zat cair pada suhu gas. Jika H_s adalah kelembaban jenuh, dan P'_A tekan uap zat cair,

$$H_s = \frac{p_a p'_a}{p_a (1 - p'_a)} \dots\dots\dots(9)$$

Kelembaban relatif (*relative humidity*) H_R didefinisikan sebagai rasio antara tekanan-bagian uap dan tekanan-uap zat cair pada suhu gas. Besaran ini biasanya dinyatakan atas dasar persen, sehingga kelembaban 100 persen berarti gas jenuh, sedang kelembaban 0 persen berarti gas bebas-uap. Sesuai definisi,

$$H_R = 100 \frac{p_a}{p'_a} \dots\dots\dots(10)$$

Persentase kelembaban (*percentage humidity*) H_A ialah rasio kelembaban nyata (actual) terhadap kelembaban jenuh H_A . Pada suhu gas, juga atas dasar persen, atau

$$H_A = 100 \frac{p_a}{p_3} = 100 \frac{p_a / (1 - p_a)}{p'_a / (1 - p'_a)} = H_R \frac{1 - p'_a}{1 - p_a} \dots\dots\dots(11)$$

Persentase kelembaban pada setiap kelembaban, kecuali pada 0 atau 100 persen, selalu lebih kecil dari kelembaban relatif.

Kalor lembab (*humid heat*) c_s ialah energi kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1lb atau 1g gas, beserta segala uap yang dikandungnya, sebesar 1°F atau 1°C.

$$c_s = c_{pb} + c_{pa} H \dots\dots\dots(12)$$

di mana c_pB dan c_pA masing-masing ialah kalor-spesifik gas dan kalor-spesifik uap.

Volume lembab (*humid volume*) v_H ialah volume total satu satuan massa gas bebas-uap beserta segala uap yang dikandungnya, pada tekanan 1 atm dan suhu gas. Sesuai dengan hukum gas, v_H dalam satuan fps dihubungkan dengan kelembaban dan suhu oleh persamaan

$$v_H = \frac{39}{492} \left(\frac{1}{\square\square} + \frac{\square}{\square\square} \right) \dots\dots\dots (13-a)$$

di mana T adalah suhu absolut dalam derajat Rankine. Dalam satuan SI, persamaan itu adalah

$$v_H = \frac{0024}{273} \left(\frac{1}{\square\square} + \frac{\square}{\square\square} \right) \dots\dots\dots (13-b)$$

di mana v_H adalah dalam meter kubik per gram dan T dalam Kelvin. Untuk bebas-uap, $H=0$, dan v_H adalah volume spesifik gas tetap. Untuk gas jenuh, $H=H_s$ dan v_H menjadi volume jenuh (*saturated volume*).

Titik embun (*dew point*) ialah suhu pendinginan campuran uap-gas (pada kelembaban tetap) agar menjadi jenuh. Titik embun fase gas jenuh sama dengan suhu gas itu. Entalpi total (*total enthalpy*) H_y ialah entalpi satu satuan massa gas ditambah uap yang terkandung di dalamnya. Untuk menghitung H_y , diperlukan dua keadaan rujukan, satu untuk gas, satu lagi untuk uap. Umpamakan T_0 ialah suhu acuan (*datum*) yang dipilih untuk kedua komponen, dan entalpi komponen B pada B cair kita dasarkan pada suhu T_0 ini. Umpamakan suhu gas ialah T dan

kelembabannya H. Entalpi total ialah jumlah ketiga faktor, yaitu kalor sensibel uap, kalor laten zat cair pada T_0 , dan kalor sensibel gas bebas-uap. Jadi,

$$H_y = c_{pB}(T - T_0) + H\lambda_0 + C_{pA}H(T - T_0) \dots \dots \dots (14)$$

di mana λ_0 ialah kalor laten zat cair pada suhu T_0 . Dari pers (23-6), persamaan ini menjadi

$$H_y = c_s(T - T_0) + H\lambda_0 \dots \dots \dots (15)$$

2.8 Suhu Cembul-Basah dan Pengukuran Kelembaban

Suhu cembul-basah ialah suhu keadaan-stedi dan tak-keseimbangan yang dicapai bila suatu massa yang kecil daripada zat cair dicelupkan dalam keadaan adiabatik di dalam suatu arus gas yang kontinyu. Berdasarkan literatur McCabe (1993), massa zat cair itu sedemikian kecil di kelembaban dengan fase gas, sehingga perubahan sifat-sifat gas kecil sekali dan dapat diabaikan, sehingga pengaruh proses ini hanya terbatas pada zat cair saja.

Untuk mengukur suhu cembul-basah secara teliti, ada tiga hal yang harus diperhatikan:

- 1) Sumbu itu harus basah seluruhnya dan tidak ada bagian sumbu itu yang kering yang berada dalam kontak dengan gas
- 2) Kecepatan gas harus cukup besar sehingga laju aliran kalor radiasi dari lingkungan yang panas ke cembul itu dapat diabaikan terhadap laju aliran kalor sensibel yang disebabkan oleh konduksi dan konveksi dari gas ke cembul

3) Jika kita harus menambahkan zat cair pengganti ke cembul itu, zat cair yang ditambahkan itu harus berada pada suhu cembul basah.

Bila ketiga hal tersebut dipenuhi, maka suhu cembul-basah tidak akan bergantung pada kecepatan gas dalam jangkauan laju aliran yang cukup luas.

Suhu cembul-basah mungkin tampak menyerupai suhu jenuh-adiabatik T_s . Memang untuk campuran udara-air kedua suhu itu hampir sama. Akan tetapi ini hanyalah kebetulan, dan tidak berlaku untuk campuran selain dari campuran udara dan air. Suhu cembul-basah secara mendasar berbeda dari suhu jenuh-adiabatik. Dalam hal yang tersebut, belakangan, suhu dan kelembaban gas berubah selama berlangsungnya proses itu, dan titik akhirnya ialah suatu keseimbangan sejati, dan bukan suatu keadaan-stedi yang dinamik. Biasanya, bersama dengan cembul-basah itu digunakan pula termometer tanpa balut yang mengukur suhu T , yaitu suhu gas nyata, dan suhu gas itu biasanya disebut suhu cembul-kering (dry-bulb temperature).

Kelembaban suatu arus atau massa gas didapatkan dengan mengukur titik embun atau suhu cembul-basah atau dengan cara absorpsi langsung.

1) Metode titik embun

Jika sebuah piring mengkilap yang dingin dimasukkan ke dalam gas yang kelembabannya tidak diketahui dan suhu piring itu berangsur-angsur diturunkan, piring itu akan mencapai suatu suhu dimana terjadi kondensasi kabut pada permukaan mengkilap itu. Pada waktu kabut itu pertama kali terbentuk, suhu adalah suhu keseimbangan antara uap di dalam gas dan fase zat cair. Karena itu, titik itu adalah titik embun. Bacaan diperiksa sambil

menaikkan suhu piring itu dengan perlahan-lahan dan mencatat suhu dimana kabut itu menghilang. Kelembaban lalu dibaca dari grafik kelembaban pada suhu rata-rata dari suhu dimana kabut itu mulai terbentuk dan suhu dimana kabut itu menghilang.

2) Metode psikometrik

Suatu cara yang lazim digunakan untuk mengukur kelembaban ialah dengan menentukan suhu cembul-basah dan suhu cembul-kering secara serentak. Dari kedua bacaan itu, kelembaban lalu didapatkan dengan menentukan garis psikometrik yang memotong garis jenuh pada suhu cembul-basah sesuai dengan pengamatan, dan mengikuti garis itu sampai memotong kordinat pada suhu cembul-kering.

3) Metode langsung

Kandungan uap di dalam gas dapat ditentukan secara langsung dengan analisis dimana gas yang volumenya tertentu dilewatkan melalui suatu peranti analisis yang semestinya.

BAB III METODE PELAKSANAAN

3.1 Waktu dan Tempat Kegiatan

Kerja praktek dilaksanakan dari tanggal 2 sampai 20 Maret 2020. Secara administrasi lokasi kerja praktek terletak di PT Kemasan Cipta Nusantara.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan untuk tugas akhir di PT Kemasan Cipta Nusantara dikumpulkan dengan cara :

1. Data lapangan

Data lapangan dikelompokkan dengan 2 cara yaitu :

- a. Cara langsung

Yaitu data yang diperoleh dengan pengambilan langsung melalui pembacaan parameter yang ada di lapangan.

- b. Cara wawancara

Yaitu bila tidak ada data yang diperoleh dengan cara langsung, maka dilakukan dengan cara wawancara langsung dengan operator dan pembimbing di PT Kemasan Cipta Nusantara.

2. Studi Pustaka

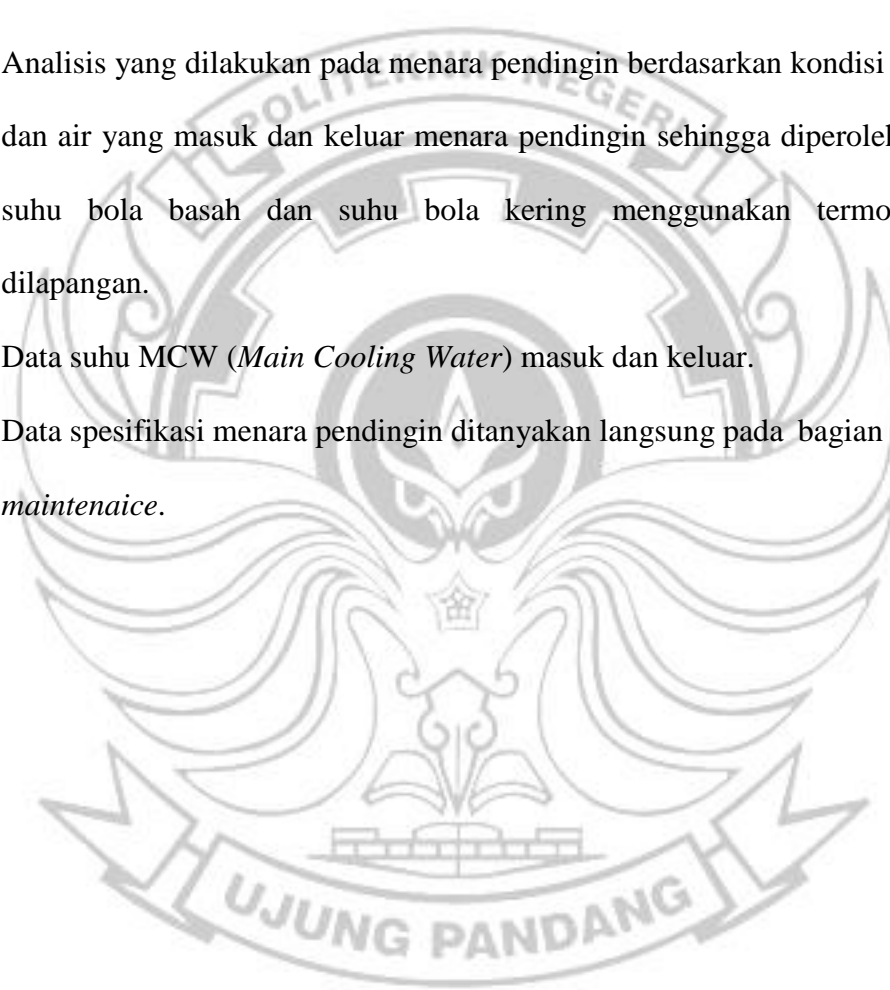
Studi pustaka dilakukan untuk mengambil data-data yang dapat digunakan dalam perhitungan dan kelengkapan tugas akhir. Data-data ini diambil dari literatur di perpustakaan PT Kemasan Cipta Nusantara.

3.3 Teknik Analisa data

Data pengamatan yang diperoleh dianalisa secara perhitungan dengan menggunakan rumus yang berlaku untuk menentukan efektivitas kinerja dari alat *cooling tower*.

Adapun data-data yang diambil dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Analisis yang dilakukan pada menara pendingin berdasarkan kondisi udara dan air yang masuk dan keluar menara pendingin sehingga diperoleh data suhu bola basah dan suhu bola kering menggunakan termometer dilapangan.
2. Data suhu MCW (*Main Cooling Water*) masuk dan keluar.
3. Data spesifikasi menara pendingin ditanyakan langsung pada bagian *maintenaice*.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Efektivitas *cooling tower* dan kebutuhan air make-up di PT Kemasan Cipta Nusantara unit daur ulang limbah *styrofoam* dapat dihitung dengan data pengamatan yang telah didapatkan. Data-data yang untuk perhitungan tersebut didapatkan dari observasi lapangan dan referensi dari literatur. Berdasarkan data pengamatan yang didapatkan dari tanggal 3 sampai 20 Maret 2020, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1. Nilai *range*, *approach*, efektivitas, kehilangan penguapan (W_c), *drift loss* (W_d), *Blowdown* (W_b) dan air *make-up*.

| Hari Ke- | Range (°C) | Approach (°C) | Efektivitas (%) | Kehilangan Penguapan (m ³ /Jam) | Drift Loss (m ³ /Jam) | Blowdown (m ³ /Jam) | Air Make-Up (m ³ /Jam) |
|----------|------------|---------------|-----------------|--|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 14,2 | 2,3 | 86,06 | 1,69 | 0,16 | 0,56 | 2,42 |
| 2 | 11,1 | 2,1 | 84,09 | 1,32 | | 0,44 | 1,92 |
| 3 | 11,3 | 2,1 | 84,33 | 1,35 | | 0,45 | 1,95 |
| 4 | 11,8 | 2,5 | 82,52 | 1,41 | | 0,47 | 2,03 |
| 5 | 12,0 | 2,2 | 84,51 | 1,43 | | 0,48 | 2,07 |
| 6 | 12,3 | 2,6 | 82,55 | 1,47 | | 0,49 | 2,11 |
| 7 | 11,5 | 2,2 | 83,94 | 1,37 | | 0,46 | 1,99 |
| 8 | 11,9 | 2,3 | 83,80 | 1,42 | | 0,47 | 2,05 |
| 9 | 10,2 | 1,9 | 84,30 | 1,22 | | 0,41 | 1,78 |
| 10 | 11,9 | 2,4 | 83,22 | 1,42 | | 0,47 | 2,05 |
| 11 | 13,5 | 3,1 | 81,33 | 1,61 | | 0,54 | 2,3 |
| 12 | 11,6 | 2,6 | 81,69 | 1,38 | | 0,46 | 2,00 |
| 13 | 12,4 | 3,0 | 80,52 | 1,48 | | 0,49 | 2,13 |
| 14 | 11,5 | 2,7 | 80,99 | 1,37 | | 0,46 | 1,99 |

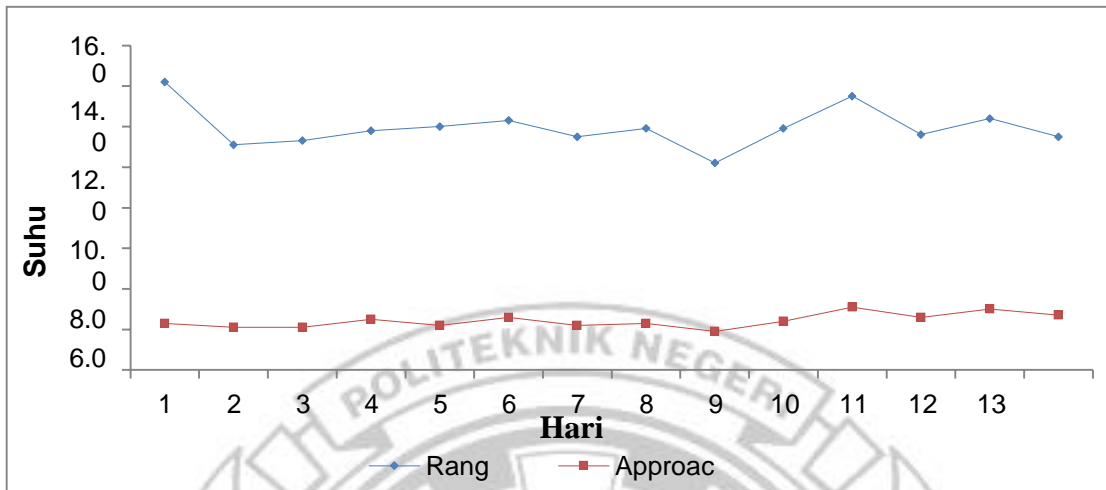
Tabel 4.2. Data Udara *Cooling Tower*

| Har i Ke - | Udara Masuk | | | | | | Udara Keluar | | | | | |
|---------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------------|-----------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------|-----------------------------------|
| | RH (%) | χ (kg/kg) | S_v (m ³ /kg) | S_{vs} (m ³ /kg) | Td (°C) | v_H (m ³ /Kg) | RH (%) | χ (kg/kg) | S_v (m ³ /kg) | S_{vs} (m ³ /kg) | Td (°C) | v_H (m ³ /Kg) |
| 1 | 35 | 0,018 5 | 0,874 0 | 0,948 9 | 23,5 | 0,900 2 | 79 | 0,021 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 26,0 | 0,8809 |
| 2 | 40 | 0,021 5 | 0,886 4 | 0,961 4 | 26,0 | 0,916 4 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |
| 3 | 38 | 0,020 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 25,0 | 0,908 7 | 86 | 0,023 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 27,5 | 0,8848 |
| 4 | 35 | 0,019 5 | 0,886 4 | 0,961 4 | 24,5 | 0,912 7 | 86 | 0,023 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 27,5 | 0,8848 |
| 5 | 40 | 0,021 5 | 0,886 4 | 0,961 4 | 26,0 | 0,916 4 | 86 | 0,023 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 27,5 | 0,8848 |
| 6 | 42 | 0,022 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 26,5 | 0,911 7 | 80 | 0,023 0 | 0,849 3 | 0,905 2 | 27,0 | 0,8940 |
| 7 | 45 | 0,022 0 | 0,874 0 | 0,948 9 | 26,8 | 0,907 7 | 80 | 0,023 0 | 0,849 3 | 0,905 2 | 27,0 | 0,8940 |
| 8 | 42 | 0,022 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 26,5 | 0,911 7 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |
| 9 | 38 | 0,020 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 23,5 | 0,908 7 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |
| 10 | 42 | 0,022 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 23,5 | 0,911 7 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |
| 11 | 45 | 0,022 0 | 0,874 0 | 0,948 9 | 26,8 | 0,907 7 | 86 | 0,023 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 27,5 | 0,8848 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|----|------------|------------|------------|------|------------|----|------------|------------|------------|------|--------|
| 12 | 45 | 0,022 0 | 0,874 0 | 0,948 9 | 26,8 | 0,907 7 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |
| 13 | 44 | 0,020 0 | 0,867 7 | 0,942 7 | 25,5 | 0,900 7 | 86 | 0,023 0 | 0,836 5 | 0,892 7 | 27,5 | 0,8848 |
| 14 | 42 | 0,022 0 | 0,880 2 | 0,955 1 | 26,5 | 0,911 7 | 86 | 0,024 5 | 0,849 3 | 0,905 2 | 28,5 | 0,8974 |



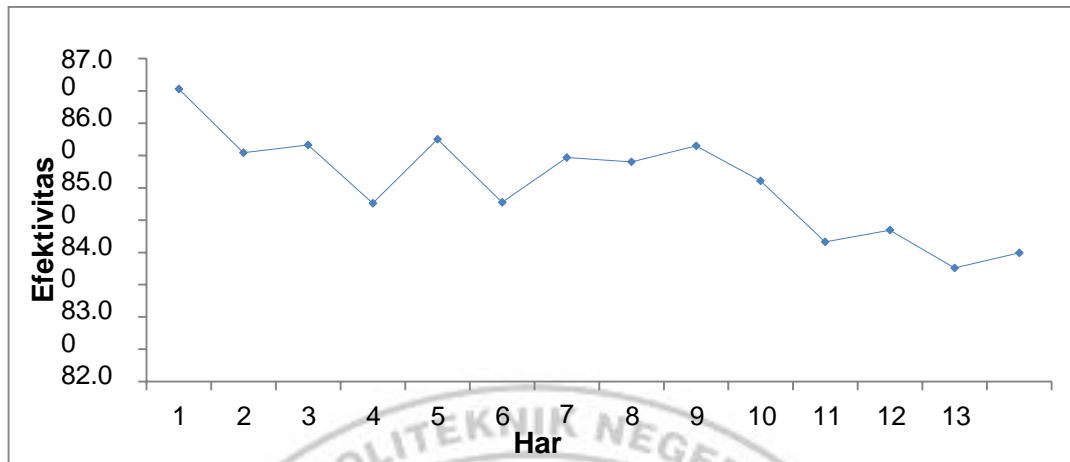
4.2 Pembahasan



Gambar 4.1. Kurva perbandingan *range* dan *approach*

Gambar 4.1 menunjukkan nilai *range* dan *approach* dari hari pertama hingga akhir pengamatan pada *cooling tower* PT Kemasan Cipta Nusantara. Nilai *range* diperoleh dari selisih suhu air masuk dan suhu air keluar dari *cooling tower*. Adapun nilai *range* yang diperoleh dari data *cooling tower* PT Kemasan Cipta Nusantara ini berkisar 10°C - 14°C . Nilai *range* ini cukup tinggi menunjukkan bahwa kinerja *cooling tower* bagus karena mampu menurunkan suhu air secara efektif.

Nilai *approach* diperoleh dari selisih suhu air keluar *cooling tower* dengan suhu wet bulb ambient. Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *approach* yang diperoleh termasuk rendah yaitu berkisar $1,9^{\circ}\text{C}$ - 3°C . Semakin rendah nilai *approach* yang diperoleh maka semakin baik kinerja *cooling tower*. Nilai *range* dan *approach* ini harus selalu diperhatikan karena merupakan indikator yang baik untuk menentukan kinerja dari *cooling tower*.

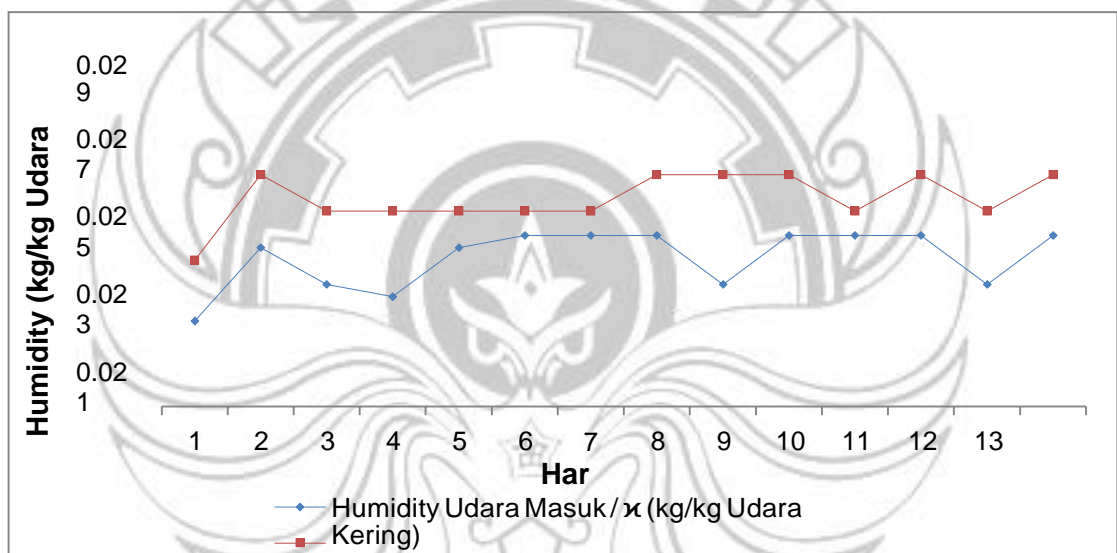


Grafik 4.2. Kurva hubungan antara waktu (hari) dengan efektivitas *cooling tower*.

Efektivitas *cooling tower* dapat diketahui setelah mengetahui perbandingan dari nilai *range* dan *range* ideal dimana semakin rendah perbandingan nilai ini maka semakin tinggi efektivitasnya. Seperti terlihat pada gambar 4.2 yang menunjukkan efektivitas kinerja *cooling tower* di PT Kemasan Cipta Nusantara unit daur ulang limbah *styrofoam* berdasarkan nilai *range* dan *approach*. Didapatkan hasil bahwa kinerja *cooling tower* di PT Kemasan Cipta Nusantara ini masih baik yaitu berkisar 80,52% - 86,06%.

Selama proses pendinginan, air yang bersirkulasi akan berkurang akibat penguapan karena pemanasan serta akibat berputarnya *fan* dan lainnya, sehingga diperlukan air *make-up* (air tambahan) untuk mengganti kehilangan tersebut. Dari hasil perhitungan jumlah air yang hilang tersebut sebesar 2,42 m³/jam, dimana besarnya laju air *make-up* yang dibutuhkan bergantung dari jumlah air yang hilang akibat penguapan. Semakin besar laju alir kehilangan penguapan maka semakin besar pula kebutuhan air *make-up* yang dibutuhkan untuk mengganti jumlah air yang terbuang ke udara akibat penguapan.

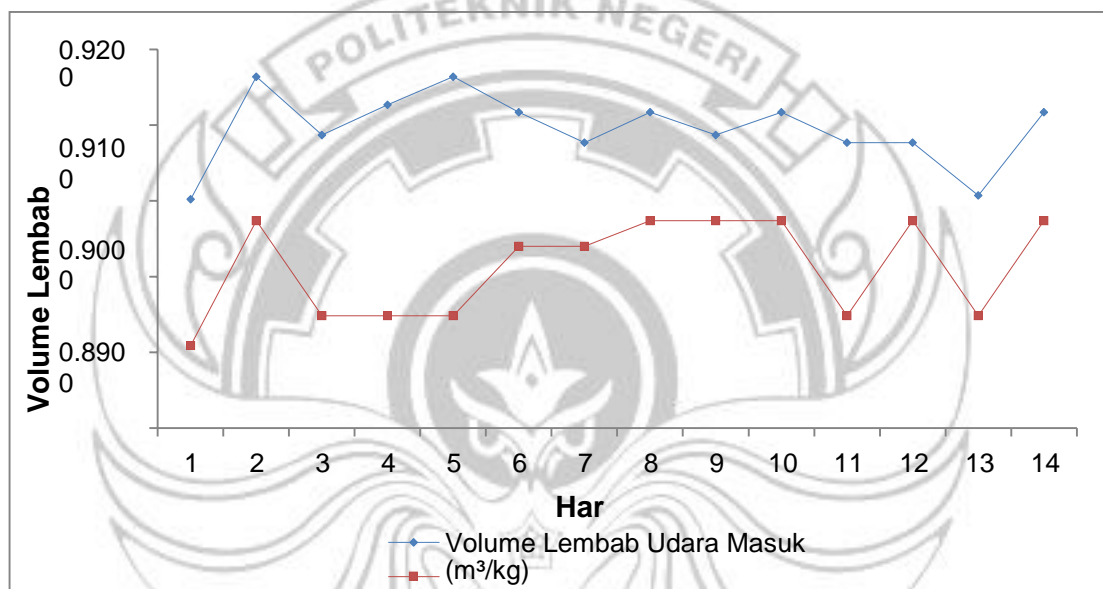
Analisis *cooling tower* ini, air *make-up* yang digunakan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan kurang optimal. Hal ini dikarenakan penambahan air *make-up* yang hanya dilakukan sekali seminggu dan kurang dikontrol dengan baik. Juga perlu diantisipasi untuk menjaga kestabilan air yang bersirkulasi, jika tidak diperhitungkan berkurangnya air kemungkinan air akan habis dan dapat mengganggu proses pendinginan. Air *make-up* yang ditambahkan harus dikontrol agar tidak berlebih sehingga tidak terjadi pemborosan.



Gambar 4.3. Kurva hubungan *humidity* udara masuk dan udara keluar vs tanggal

Berdasarkan metode psikometrik dengan data suhu bola kering (T_{db}) dan suhu bola basah (T_{wb}) udara *cooling tower*, dapat diperoleh data nilai *relative humidity* (RH), *humidity*, *spesifik volume* udara kering, serta *saturated volume* udara. Adapun data ini *humidity* dapat dilihat pada gambar 4.3, pada saat udara masuk nilai *humidity* yang didapatkan sebesar 0,0185 kg/kg udara kering dan *humidity* udara keluar sebesar 0,021 kg/kg udara kering. Dapat diketahui bahwa untuk *humidity* (kelembaban) udara keluar lebih besar dibandingkan dengan udara

masuk. Hal ini disebabkan karena udara menyerap air yang masuk kedalam *cooling tower* atau yang biasa disebut kehilangan penguapan. Ini juga yang menyebabkan suhu udara yang keluar lebih dingin dibandingkan dengan udara masuk. Karena pada udara keluar mengandung lebih banyak air dibandingkan dengan udara masuk *cooling tower*.



Gambar 4.4. Kurva hubungan antara volume lembab (U_H) udara masuk dan keluar vs tanggal

Berdasarkan data *spesifik volume* udara kering (S_v), *saturated volume* udara (S_{vs}) serta persen *relative humidity* (RH) dimasukkan kedalam rumus untuk mendapatkan nilai volume lembab. Volume lembab ini merupakan volume total satu satuan massa gas bebas uap beserta uap yang dikandungnya pada tekanan 1 atm dan suhu gas. Adapun data volume lembab (U_H) dapat dilihat pada gambar 4.4, dimana dari gambar dilihat bahwa untuk volume lembab udara masuk lebih besar dibandingkan dengan udara keluar yaitu pada hari pertama volume lembab

udara masuk sebesar $0,9002 \text{ m}^3/\text{kg}$ dan volume lembab udara keluar sebesar $0,8809 \text{ m}^3/\text{kg}$. Hal ini karena udara yang masuk kedalam *cooling tower* lebih kering atau mengandung sedikit uap. Udara kering ini berkontak dengan air didalam *cooling tower* sehingga pada saat keluar dari *cooling tower* volume lembab (V_H) udara menjadi lebih rendah karena mengandung lebih banyak uap air.

Didalam *cooling tower*, air menguap ke udara dan kalor berpindah dari air panas ke udara dan juga *fill*. Proses inilah yang menyebabkan turunnya air yang lebih dingin dan untuk menjaga keseimbangan air yang hilang karena penguapan atau angin. Air panas dialirkan berlawanan arah dengan media pendingin yaitu udara. Udara dialirkan dari bawah *cooling tower*, sedangkan air dialirkan dari atas *cooling tower*. Proses perpindahan panas yang terjadi antara panas yang dibawa oleh air dan panas yang dibawa udara agar dapat menguapkan kandungan uap air dari fasa air. Semakin banyaknya kontak antara air dengan udara maka akan semakin besar nilai humidity. Bila semakin besar kontaknya maka akan semakin banyak terjadinya perpindahan panas maupun massa. Adanya *fill* atau kolom pada *cooling tower* ini juga memperbesar kontak antara air dengan udara. Untuk perpindahan massa terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi. Dimana saat pertama kali udara yang masuk kedalam *cooling tower* bersifat tidak jenuh dan saat keluar dari atas *cooling tower*, udara akan jenuh dan memiliki cukup banyak kandungan uap air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Efektivitas kinerja *cooling tower* berdasarkan nilai *range* dan *approach* di PT Kemasan Cipta Nusantara Unit daur ulang limbah *styrofoam* termasuk baik yaitu berkisar antara 80,52 - 86,06%.
2. Kebutuhan air *make-up* yang digunakan untuk mengganti air yang hilang akibat kehilangan penguapan, *blowdown* dan *drift loss* selama proses pendinginan berlangsung sebesar 1,92 - 2,42 m³/jam.
3. Nilai *humidity* udara masuk lebih rendah dibandingkan nilai *humidity* udara keluar *cooling tower* yaitu saat udara masuk, nilai *humidity* yang didapatkan sebesar 0,0185 kg/kg udara kering dan nilai *humidity* udara keluar sebesar 0,021 kg/kg udara kering. Ini dikarenakan adanya kontak antara air dengan udara didalam *cooling tower* yang menyebabkan perpindahan kalor dan massa dari air kedalam udara.

5.2 Saran

1. Untuk mengantisipasi terjadinya pemborosan penggunaan air pada penambahan air *make-up* maka perlu dikontrol sesuai dengan yang diperlukan supaya tidak terjadi pemborosan.
2. Untuk mengetahui laju alir air yang sebenarnya pada *cooling tower* ada baiknya perusahaan menyediakan alat *flow meter*.

DAFTAR PUSTAKA

- Awwaluddin, Muhammad. 2012. Perhitungan Kebutuhan Cooling Tower Pada Rancang Bangun Untai Uji Sistem Kendali Reaktor Riset. Dalam: Jurnal Prima. Vol 9 (1). << <https://media.neliti.com/media/publications/160415-ID-perhitungan-kebutuhan-cooling-tower-pada.pdf>>>. Diakses tanggal 05 Februari 2020.
- El-Wakil, M. M dan Jasjfi, E. 1992. *Instalasi Pembangkit Daya. Power Plant Technology*. Jakarta: Erlangga.
- Fauzi, Danial Ahmad dan Bayu Rudiyanto. 2016. Analisa Performa Menara Pendingin Pada PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng. Dalam : Jurnal Ilmiah Rotari. Vol 1 (1). << <https://www.jurnal.upnyk.ac.id/index.php>>>
- Handoyo, Yopi. 2015. Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT.XYZ, Tambun Bekasi. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. Vol. 3 (1). Februari 2015 Universitas Islam 45 Bekasi. <<<http://ejournal.unismabekasi.ac.id>>>. Diakses tanggal 02 Februari 2020.
- Laboratorium Nasional Pacific Northwest. 2011. Peralatan Energi Listrik: Menara Pendingin Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia. <<www.energyefficiencyasia.org>>. Diakses tanggal 30 Januari 2020
- McCabe, Warren L, Julian C. Smith dan Peter Harriot. 1993. *Operasi Teknik Kimia Jilid 2*. (Edisi ke-4). Terjemahan oleh Ir. E. Jasjfi, M.Sc. Jakarta. Erlangga.
- Nasution, Dian Morfi. 2010. Penelitian Kinerja Induced Draft Cooling Tower Dengan Potongan Pipa PVC Ø 1 Inchi Sebagai Filling Material. Dalam : *Jurnal Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara*. 2011. (22673). <<[Http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/22673/4/chapter011/pdf](http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/22673/4/chapter011/pdf)>>. Diakses tanggal 31 Januari 2020
- Perry, Robert H. dan Don Green. 1984. *Chemical Engineers Handbook*. Sixth Edition. New York: Mc Graw-Hill Book.Co.
- Singham, J. R. 1990. *Hemisphere Handbook of Heat Exchanger Design, Section 3.12 (Cooling Towers)*. New York: Hemisphere Publishing Corporation.
- Suhardi, Raden Putra. 2015. Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower Pada Fluida Di Mesin Injeksi Plastik. Universitas Mercu Buana. Dalam : *Jurnal JTM* Vol.4 (2). <<<http://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/jtm/article/view/1010>>>. Diakses tanggal 04 Februari 2020

L

A

M

P

I

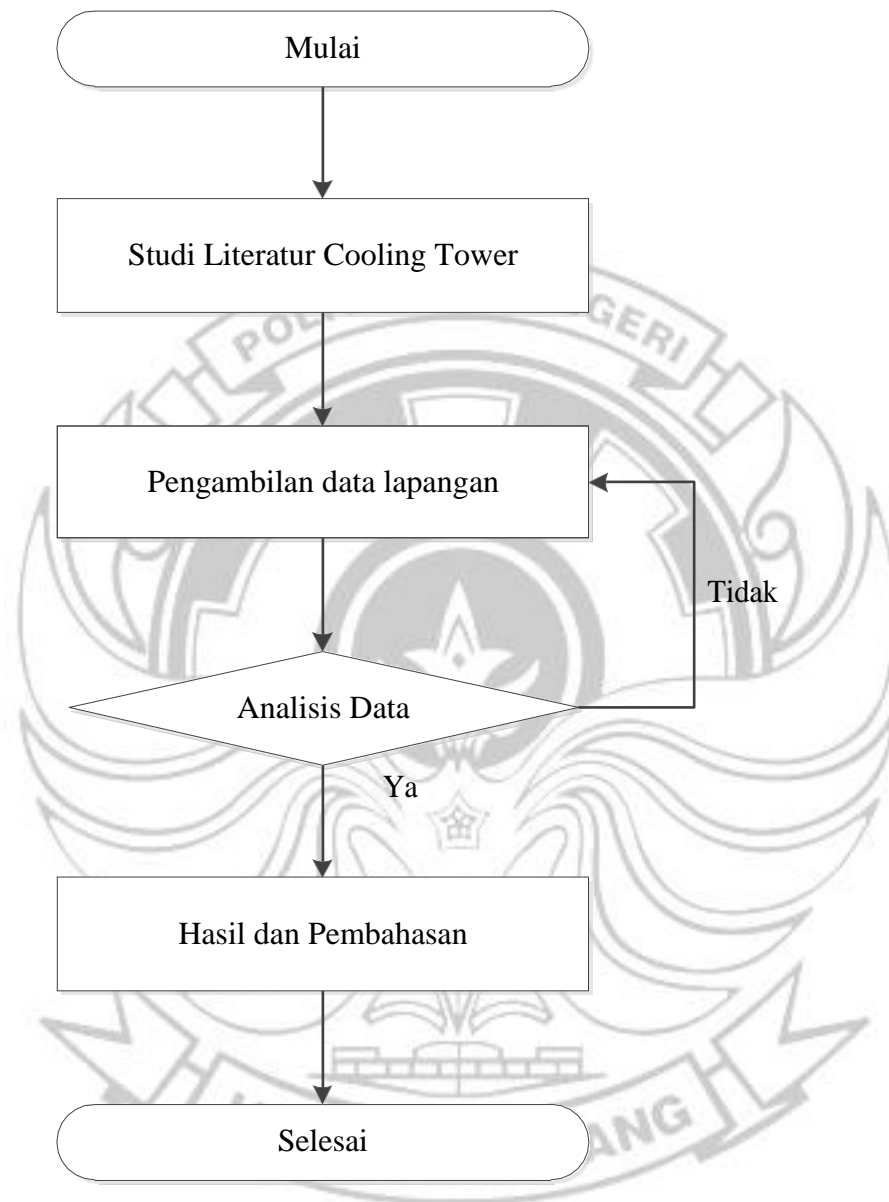
R

A

N



LAMPIRAN 1. DIAGRAM ALIR KEGIATAN



**LAMPIRAN 2. DATA SPESIFIKASI COOLING TOWER PT KEMASAN
CIPTA NUSANTARA**

| | |
|------------------------|--|
| Tipe Cooling tower | = <i>Induced draft counterflow tower with fill</i> |
| Jenis | = Liang Chi LBC 100 |
| Dimensi menara (m) | = 2,235 x 2,650 |
| Basin | = Beton |
| Packing | = Fibre-Reinforced Plastic (F.R.P) |
| Drift Eliminator | = F.R.P |
| Pipa distribusi air | = PVC |
| Nozzle | = PP |
| Pipe Connection Inlet | = 100 mm |
| Pipe Connection Outlet | = 50 mm |
| Fan | |
| Material | = Aluminium |
| Type | = Fan Blade Ass'y |
| Diameter Fan | = 1,47 m |
| Kecepatan | = 830 rpm |
| Volume Udara | = 630 m ³ /min |
| Daya | = 2,2 kw |
| Pompa | |
| Jenis | = Su Zhou Liang Chi 3-Phase |
| Tipe | = AE VH-NH |
| Daya motor | = 5,5 kW |
| Head total | = 2,5 M |
| Efisiensi | = 85 % |
| Kecepatan | = 1450 rpm |

LAMPIRAN 3. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Data Pengamatan *Cooling Tower*

| Tanggal | Hari Ke- | Suhu Air CT (°C) | | Suhu Udara CT (°C) | | | |
|------------|----------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | Masuk | Keluar | Masuk | | Keluar | |
| | | T _{w in} | T _{w out} | T _{bd in} | T _{wb in} | T _{db out} | T _{wb out} |
| 03/03/2020 | 1 | 43,5 | 29,3 | 41 | 28 | 30 | 27 |
| 04/03/2020 | 2 | 42,2 | 31,1 | 43 | 30 | 31 | 29 |
| 05/03/2020 | 3 | 41,4 | 30,1 | 42 | 29 | 30 | 28 |
| 06/03/2020 | 4 | 42,3 | 30,5 | 43 | 29 | 30 | 28 |
| 09/03/2020 | 5 | 42,2 | 30,2 | 43 | 30 | 30 | 28 |
| 10/03/2020 | 6 | 42,9 | 30,6 | 42 | 30 | 31 | 28 |
| 11/03/2020 | 7 | 41,7 | 30,2 | 41 | 30 | 31 | 28 |
| 12/03/2020 | 8 | 43,2 | 31,3 | 42 | 30 | 31 | 29 |
| 13/03/2020 | 9 | 41,1 | 30,9 | 42 | 31 | 31 | 29 |
| 16/03/2020 | 10 | 43,3 | 31,4 | 42 | 30 | 31 | 29 |
| 17/03/2020 | 11 | 44,6 | 31,1 | 41 | 30 | 30 | 28 |
| 18/03/2020 | 12 | 43,2 | 31,6 | 41 | 30 | 31 | 29 |
| 19/03/2020 | 13 | 43,4 | 31,0 | 40 | 29 | 30 | 28 |
| 20/03/2020 | 14 | 43,2 | 31,7 | 42 | 30 | 31 | 29 |

B. Perhitungan Efektivitas *Cooling Tower*

Perhitungan untuk hari pertama :

Suhu air masuk menara (T_{w In}) = 43,5 °C

Suhu air keluar menara (T_{w Out}) = 29,3 °C

Suhu bola basah udara (T_{wb}) = 27 °C

1. Cooling Range

$$\begin{aligned}\text{Range CT} &= \text{Suhu air masuk CT (°C)} - \text{Suhu air keluar CT (°C)} \\ &= (43,5 - 29,3) \text{ °C} \\ &= 14,2 \text{ °C}\end{aligned}$$

2. Approach

$$\begin{aligned}\text{Approach CT} &= \text{Suhu air keluar CT (°C)} - \text{Suhu wet bulb (°C)} \\ &= (29,3 - 27) \text{ °C} \\ &= 2,3 \text{ °C}\end{aligned}$$

3. Efektivitas

$$\begin{aligned}\text{Efektivitas CT} &= \frac{\text{□□□□□}}{\text{□□□□□} + \text{□□□□□□□□} \times 100\% \\ &= \frac{14,2}{14,2 + 2,3} \times 100\% \\ &= 86,06 \%\end{aligned}$$

C. Perhitungan Kebutuhan Air Make-up Cooling Tower

Perhitungan untuk hari pertama :

$$\text{Suhu air masuk menara } (T_w \text{ In}) = 43,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu air keluar menara } (T_w \text{ Out}) = 29,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu bola basah udara } (T_{wb}) = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Drift loss} = 0,2\%$$

$$\text{Laju Sirkulasi CT} = 1300 \text{ l/min}$$

1. Kehilangan Penguapan (W_e)

$$W_e (\text{m}^3/\text{Jam}) = 0,00085 \times \text{RR} \times (T_{\text{in}} - T_{\text{Out}}) \times 1,8$$

Recirculation Rate (RR) merupakan angka laju sirkulasi berasal dari tabel data Cooling Tower LBC 100, dimana perhitungannya 1300 (Nominal water flow : l/min)/1000 x 60 = 78 m³/Jam.

$$\text{RR} = 78 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

$$\begin{aligned}W_e &= 0,00085 \times \text{RR} \times (T_{\text{in}} - T_{\text{Out}}) \times 1,8 \\ &= 0,00085 \times 78 \text{ m}^3/\text{Jam} \times (43,5 - 29,3) \times 1,8 \\ &= 1,69 \text{ m}^3/\text{Jam}\end{aligned}$$

2. Drift Loss (W_d)

Berdasarkan literatur El-Wakil, banyaknya kerugian akibat hanyutan (*loss drift*) adalah dibawah 0,2% dari total air yang bersirkulasi.

$$\begin{aligned}W_d &= \text{RR} \times 0,2\% \\ &= 78 \text{ m}^3/\text{Jam} \times 0,002 \\ &= 0,16 \text{ m}^3/\text{Jam}\end{aligned}$$

3. Blowdown (W_b)

$$W_b = \frac{C.O.C \cdot (C_{recirculation} - C_{make-up})}{C_{recirculation} - C_{make-up}}$$

Dimana nilai C.O.C didapatkan dari perbandingan TDS *recirculation water cooling tower* dengan TDS dari air *make-up*.

TDS air recirculate rate cooling tower = 455 ppm

TDS air make-up = 114 ppm

C.O.C = 4

$$\begin{aligned} W_b &= \frac{1,6946}{(4-1)} \\ &= \frac{1,6946}{(4-1)} \\ &= 0,56 \text{ m}^3/\text{Jam} \end{aligned}$$

4. Kebutuhan Air Make-Up

$$\begin{aligned} W_m &= W_e + W_d + W_b \\ &= (1,6946 + 0,156 + 0,564876) \text{ m}^3/\text{Jam} \\ &= 2,42 \text{ m}^3/\text{Jam} \end{aligned}$$

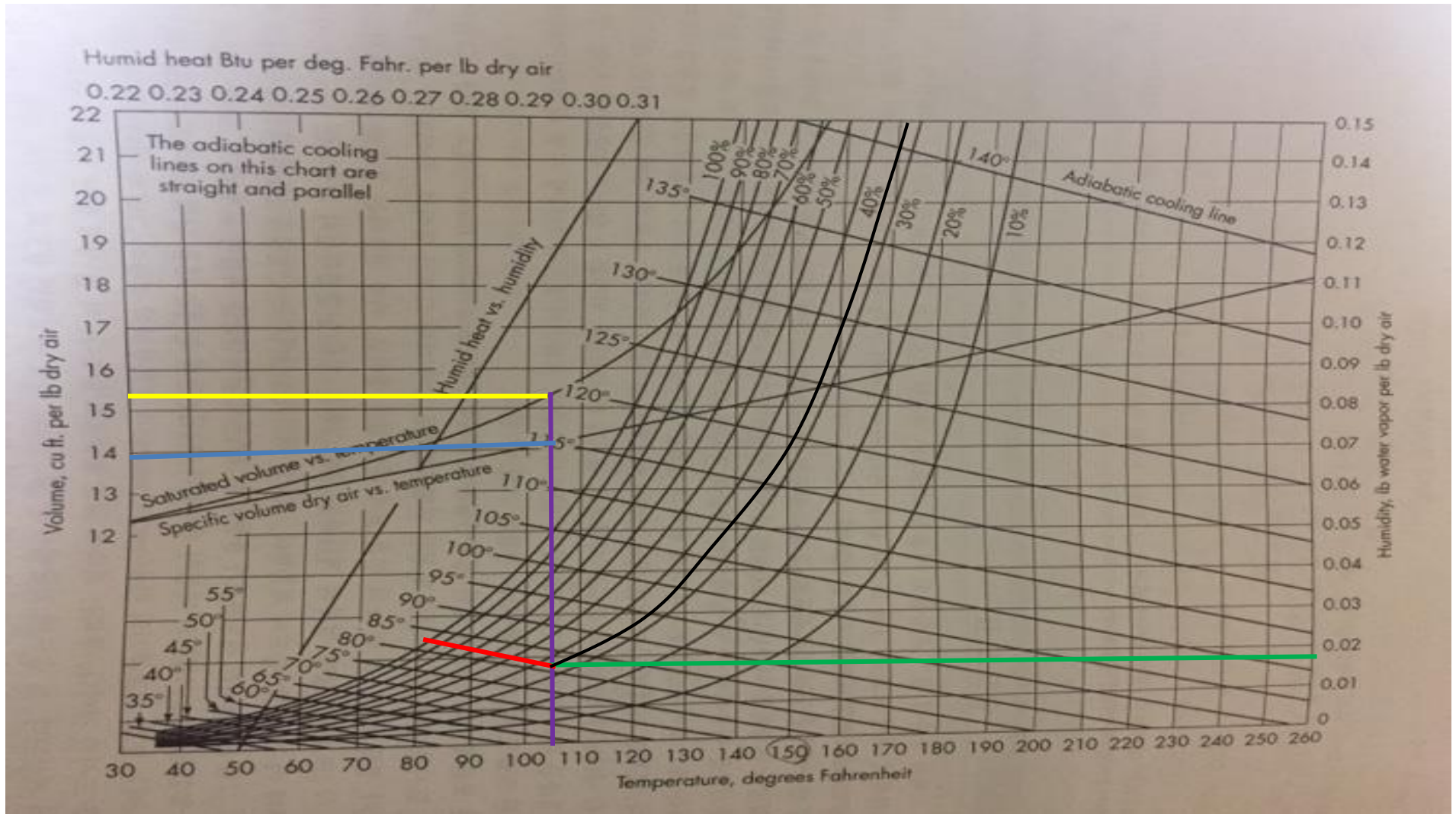
Perhitungan untuk hari (pengamatan) selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

D. Perhitungan Volume Lembab (V_H)

$$\begin{aligned} V_H &= V_{air} + \% \text{ kelembapan} (V_{air} - V_{air}) \\ V_H &= 0,8740 + 38\% (0,9489 - 0,8740) \\ V_H &= 0,9024 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka diperoleh hasil yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

LAMPIRAN 4. PENENTUAN DATA UDARA DENGAN PSIKOMETRIK CHART



Keterangan :

- = Suhu Udara Kering (T_{db})
- = Suhu Udara Basah (T_{wb})
- = *Humidity* (κ)
- = *Spesivic Volume* (S_v)
- = *Saturated Volume* (S_{vs})
- = *Relative Humidity* (RH)

1. Penentuan *Humidity* udara

Berdasarkan pada gambar psikometrik chart diatas, cara menentukan humidity udara yaitu dengan menghubungkan suhu udara kering (T_{db}) dengan suhu udara basah (T_{wb}). Perpotongan antara garis ini ditarik kearah kanan hingga dapat ditentukan nilai *humidity* udara (garis warna hijau).

3. Penentuan *Spesivic Volume* (S_v) dan *Saturated Volume* (S_{vs}) Udara

Berdasarkan pada gambar psikometrik chart, untuk penentuan *spesivic volume* dan *saturated volume* udara dengan menarik garis T_{db} keatas hingga memotong garis S_v dan S_{vs} . Perpotongan garis antara T_{db} dengan S_v ditarik kearah kiri hingga dapat ditentukan nilai dari S_v (garis warna biru), begitupun untuk pembacaan S_{vs} (garis warna kuning).

4. Penentuan % *Relative Humidity* (%RH)

Berdasarkan pada gambar psikometrik chart, cara menentukan *relative humidity* udara yaitu dengan menghubungkan suhu udara kering (T_{db}) dengan suhu udara basah (T_{wb}). Perpotongan antara garis ini ditarik kearah atas hingga dapat ditentukan % *relative humidity* udara (garis warna hitam).

Berdasarkan pembacaan Psikometrik Chart, diperoleh data udara yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.