PERANCANGAN '*MINI COOLING TOWER'* SEDERHANA SEBAGAI PENDINGIN AIR KONDENSOR PADA PROSES REFLUKS UJI *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD)

[1]Titik Indrawati, [2]Indrariningrum,[3]Rhevi Raditya Ginanjar
Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman
Jl. Dr. Suparno Karangwangkal, Purwokerto 53122
Email: tindrawati293@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *Mini Cooling Tower* sederhana dan uji karakterisasi sebagai fungsi perubahan suhu air. Uji kelayakan diaplikasikan pada aliran air kondensor dalam proses refluks penetapan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) air limbah dan air sungai. Pembuatan *Mini Cooling Tower* sederhana dilakukan dengan merakit komponen yang terdiri dari boks aluminium berukuran 40x30x85cm, bak penampung (akuarium) berukuran 40x28x30cm, 2 kipas angin berdiameter 10 cm dan 8 cm masing-masing dipasang di bagian atas sisi kanan kiri alat. *Mini Cooling Tower* menggunakan *fill* berupa kelereng, pompa dengan kapasitas flow maksimal 800 l/h, dan 2 termometer air raksa. Hasil pengujian karakteristik *Mini Cooling Tower* menunjukan penurunan pada suhu (*range*), *approach* dan efektivitas sebesar 8^oC, 2^oC dan 80%. Hasil analisis COD air limbah yang direfluks menggunakan air kran, *Mini Cooling Tower*, dan bak penampung berturut-turut yaitu 6400 mg/L, 6266.7 mg/L, dan 3466.7 mg/L dan COD pada air sungai berturut-turut yaitu 37,3 mg/L, 37,3 mg/L dan 24 mg/L. Perbandingan ketiga hasil uji COD masing-masing sampel dihitung menggunakan uji hipotesis (t-Test). Hasil menunjukan kadar COD sampel yang direfluks menggunakan *Mini Cooling Tower* tidak berbeda signifikan dengan kadar COD yang direfluks menggunakan air kran.

Kata Kunci: Pendingin air kondensor, *Mini Cooling Tower*, Refluks, Uji COD.

ABSTRACT

This study aims to create a simple Mini Cooling Tower and its characterization as a function of water temperature changing. Feasibility test was applied on water flow of condensor in the reflux process of Chemical Oxygen Demand (COD) determination on wastewater and river water. The making of simple Mini Cooling Tower done by assembling aluminum box sized 40x30x85cm, container (aquarium) sized 40x28x30cm, 2 fans with diameter are 10 cm and 8 cm located on the top of left and right side of the tool. Mini Cooling Tower uses fill of marble form, pumps with a maximum flow capacity is 800 l/h, and 2 thermometers. The characteristization of Mini Cooling Tower showed decreases in temperature, approach and effectiveness which were 8^oC, 2^oC and 80% respectively. The COD of refluxed wastewater using tap water, Mini Cooling Tower, and reservoir were 6400 mg/L, 6266,7 mg/L and 3466,7 mg/L respectively, while the COD of river water were 37.3 mg/L, 37.3 mg/L and 24 mg/L respectively. The comparison of COD results were calculated using hypothesis test (t-Test). The results showed that COD of sample refluxed using Mini Cooling Tower were not different significantly with COD of sample refluxed with tap water.

Keywords: Condensor water cooler, Mini Cooling Tower, Reflux, COD test.

I. PENDAHULUAN

Laboratorium merupakan ruangan tertutup maupun terbuka yang dirancang sesuai dengan kebutuhan untuk melaksanakan aktivitas yang berkaitan dengan fungsi-fungsi pendidikan, penelitian dan pengabdian kepada masyarakat.

Beberapa kegiatan pengujian yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian parameter kimia seperti uji BOD (*Biological Oxygen Demand*), uji COD (*Chemical Oxygen Demand*), Uji zat organik maupun anorganik. Ketersediaan air merupakan faktor yang sangat penting pada pengujian COD (*Chemical Oxygen Demand*) karena dalam pengujian tersebut dilakukan proses *refluks* dengan campuran asam sulfat pekat dan perak sulfat yang membutuhkan aliran air terus menerus (*continues*) selama 2 jam. Pada umumnya air yang keluar dari kondensor langsung dibuang karena airnya panas sehingga terjadi pemborosan air. Hal ini juga menjadi kendala ketika ketersediaan air sangat terbatas terutama di musim kemarau.

Menampung air yang keluar dari kondensor dan dimanfaatkan kembali sebagai air masuk dalam kondensor merupakan salah satu cara untuk menghemat dan mengatasi keterbatasan adanya air, tetapi akumulasi panas yang dibawa air keluar kondensor menyebabkan suhu dalam bak penampung meningkat sehingga air ini tidak dapat dimanfaatkan kembali sebagai air masuk kondensor.

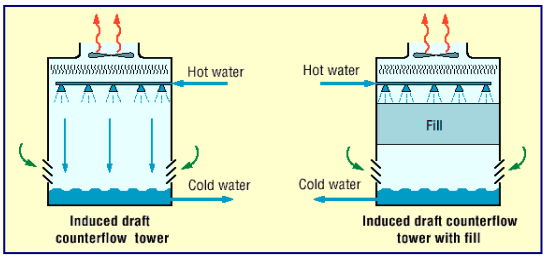
Menara pendingin merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfir (Herlambang, 2014). Komponen dasar sebuah menara pendingin meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, kolam air dingin, *eliminator* aliran, saluran masuk udara, *louvers*, *nose*l dan *fan*. Ada 2 jenis menara pendingin yaitu:

1. Menara pendingin jenis N*atural Draft*

   Menara pendingin jenis *natural draft* atau hiperbola menggunakan perbedaan suhu antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Begitu udara panas mengalir ke atas melalui menara (sebab udara panas akan naik), udara segar yang dingin disalurkan ke menara melalui saluran udara masuk di bagian bawah. Tidak diperlukan fan dan disana hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Kontruksi beton banyak digunakan untuk dinding menara dengan ketinggian hingga mencapai 200 m. Menara pendingin tersebut kebanyakan hanya digunakan untuk jumlah panas yang besar sebab struktur beton yang besar cukup mahal.

2. Menara pendingin *Draft* Mekanik

   Menara *draft* mekanik memiliki fan yang besar untuk mendorong atau mengalirkan udara melalui air yang disirkulasi. Air jatuh turun diatas permukaan bahan pengisi, yang membantu untuk meningkatkan waktu kontak antara air dan udara – hal ini membantu dalam memaksimalkan perpindahan panas diantara keduanya. Laju pendinginan menara *draft* mekanis tergantung pada banyak parameter seperti diameter fan dan kecepatan operasi, bahan pengisi untuk tahanan sistim dll. Menara *draft* mekanik tersedia dalam range kapasitas yang besar. Menara tersedia dalam bentuk rakitan pabrik atau didirikan dilapangan – sebagai contoh menara beton hanya bisa dibuat dilapangan.



Gambar 1. Menara pendingin induced draft dengan aliran berlawanan

(Peralatan Energi Listrik:Menara Pendingin Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia-www.energyefficiencyasia.org diunduh pada tanggal 11-7-2017)

Parameter yang digunakan untuk menentukan kinerja menara pendingin dengan beberapa cara. Yaitu:

a) ***Range*** merupakan perbedaan antara suhu air masuk dan keluar menara pendingin. *Range* CT yang tinggi berarti bahwa menara pendingin telah mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya bagus. Rumusnya adalah:

   Range CT (°C) = [suhu masuk CW (°C) – suhu keluar CW (°C)]

b) ***Approach*** merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar menara pendingin dan suhu *wet bulb* ambien. Semakin rendah a*pproach* semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun, *range* dan a*pproach* harus dipantau, '*approach'* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin.

   Approach CT (°C) = [suhu keluar CW (°C) – suhu *wet bulb* (°C)]

c) ***Efektivitas*** merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu *wet bulb* ambien, atau dengan kata lain adalah = *Range/ (Range + Approach)*. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas menara pendingin.

Efektivitas CT (%) = 100x(suhu CW – suhu keluar CW)/(suhu masuk CW – suhu WB)

d) **Kapasitas pendinginan** merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam atau TR, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu.

e) ***Kehilangan penguapan*** merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendinginan. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai 1,8 m3 untuk setiap 10.000.000 kKal panas yang dibuang. Rumus berikut dapat digunakan (Perry):
Kehilangan penguapan (m3/jam)
= 0,00085 x 1,8 x laju sirkulasi (m3/jam) x (T1-T2)
T1 - T2 = perbedaan suhu antara air masuk dan keluar

f) ***Siklus konsentrasi*** (C.O.C) merupakan perbandingan padatan terlarut dalam air sirkulasi terhadap padatan terlarut dalam air *make up*.

g) ***Kehilangan Blow down*** tergantung pada siklus konsentrasi dan kehilangan penguapan dan dihitung dengan rumus:
Blow down = Kehilangan penguapan/ (C.O.C. – 1)

h) ***Perbandingan Cair/Gas (L/G)***. Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju alir massa air dan udara. Menara pendingin memiliki nilai desain tertentu, namun variasi karena musim memerlukan pengaturan dan perubahan laju alir air dan udara untuk mendapatkan efektivitas terbaik menara pendingin. Pengaturan dapat dilakukan dengan perubahan beban kotak air atau pengaturan sudut siripnya. Aturan termodinamika juga mengatakan bahwa panas yang dibuang dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya. Oleh karena itu rumus berikut dapat digunakan:
L(T1 – T2) = G(h2 – h1)
L/G = (h2 – h1) / (T1 – T2)
Dimana:
L/G = perbandingan aliran massa cair terhadap gas (kg/kg)
T1 = suhu air panas (0C)
T2 = suhu air dingin (0C)
h2= entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* keluar (satuannya sama dengan diatas)
h1 = entalpi uap campuran udara-air pada suhu *wet-bulb* masuk (satuannya sama dengan diatas)

Penelitian yang sudah dilakukan tentang *cooling tower* atau menara pendingin antara lain Trisasiwi (2002) telah membuat menara pendingin tipe *Counter Flow* skala lab. yang dikerjakan di Lab.Surya, Jurusan TP IPB Bogor. Menara dibuat dari bahan fiber glass tebal 0,4 cm, garis tengah 60 cm, tinggi 60 cm, tinggi bak penampung 30 cm.Uji kinerja percobaan yang di Bogor menghasilkan *range* rata-rata 1°C dan *approach* 1,1^{o}C sedangkan percobaan di Malang menghasilkan 0,9 ^{o}C dan approach 0,6^{o}C.

Menara pendingin tipe induced counter flow juga telah dibuat oleh Yusuf Wibisono pada tahun 2005 dari tangki fiberglass dengan ketebalan 0,4 cm, diameter 60 cm, tinggi menara 90 cm, tinggi bak penampung 30 cm, jarak menara dan bak penampung (tinggi lubang udara) 30 cm, jarak antar rak 10 cm yang diisi dengan batu apung atau spos dengan berbagai ketinggian yaitu 10 cm, 30 cm dan 50 cm. Range yang dihasilkan sebesar 3,2^{o}C.

Pada tahun 2014 Rangga Bayu Herlambang juga telah menulis tentang Rancang Bangun *Test Bed Cooling Tower Counter Flow* dengan hasil pengujian kapasitas 6 l/min sampai 1 l/min menunjukan efektifitas menara berkisar 40,0% s.d 46,51% dengan rata-rata 44,42%; *cooling range* 3,6 ^{o}C sampai 6°C dengan rata-rata 4,92^{o}C; Approcah berkisar 4,6^{o}C sampai 7,8 ^{o}C dengan rata-rata 6,15^{o}C.

Tujuan Penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Mendesain *Mini Cooling Tower* untuk refluks uji COD
b. Menghitung *Approach, Range, dan* Efektivitas *Mini Cooling Tower*
c. Membandingkan hasil Uji COD yang direfluks menggunakan air kran, mini *cooling tower* dan bak penampung

II.METODE PENELITIAN

1. Pembuatan *Mini Cooling Tower*

a. Membuat kerangka boks berbentuk balok dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 85 cm dari aluminium extraction 9 x 13U.
b. Membuat penutup masing-masing sisi boks yang terbuat dari melamin yang dilapisi aluminium embos. Tutup bagian atas dibuat 2 lubang berdampingan berdiameter 10 cm, sedangkan 2 penutup samping kanan dan kiri berjarak 35 cm dari dasar boks dibuat lubang dengan diameter 8 cm. Satu lubang di bawahnya untuk selang output.
c. Memasang kipas besar di penutup bagian atas boks dengan arah angin ke atas atau menyedot, sedangkan kipas kecil dipasang di 2 sisi boks dengan arah angin masuk. Kemudian hubungkan dengan adaptor untuk mengubah arus listrik dari AC menjadi DC.
d. Memasang pipa berbentuk U secara mendatar dengan satu lubang dihubungkan

dengan selang output kondensor sebagai input MCT yang berlubang disepanjang pipa

e. Pasang bak yang berisi *fill* atau kelereng tepat dibawah pipa U.
f. Pasang bak penampung air berupa akuarium terbuat dari akrilik dengan ukuran 40 x 28 x 30 cm dibagian bawah boks.
g. Pompa diletakkan di bak penampung air
h. Pasang selang dari pompa melalui lubang *output* ke lubang *input* kondensor dan selang keluar kondensor ke pipa U.

2. Percobaan

Mini Cooling Tower yang sudah dirakit diuji coba pada proses refluks pengujian COD (*Chemical Oxygen Demand*) dengan metode SNI 06-6989.15-2004. Selama proses refluks suhu air awal, suhu akhir dan kecepatan air dicatat. Percobaan dilakukan di Laboratorium Lingkungan Universitas Jenderal Soedirman. Sampel air limbah diambil dari limbah Leachate di Gunung Tugel Banyumas sedangkan air sungai diambil dari sungai Pelus di desa Ledug Kabupaten Banyumas. Hasil uji COD yang direfluks menggunakan air kran dibandingkan dengan hasil uji COD yang menggunakan *mini cooling tower* dan bak penampung menggunakan uji t-test.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a) *Mini Cooling Tower*

Mini Cooling Tower yang dibuat adalah jenis menara pendingin tipe mekanik dengan spesifikasi komponen sebagai berikut:

1. Boks /Rumah

Boks ini sebagai kerangka pendukung sekaligus sebagai rumah alat. Kerangka pendukung menara berfungsi untuk mendukung menara pendingin agar dapat berdiri kokoh dan tegak. Sedangkan rumah menara pendingin harus memliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca dan *lifetime* yang lama. (Raden Suhardi Putra , 2015). Dengan pertimbangan faktor biaya dan berskala laboratorium maka dipilih bahan aluminium dengan ukuran 40 x 30 x 85 cm

b) Bak penampung (*water basin*)

Bak penampung berbahan kaca dengan ukuran 40 x 28 x 30 cm. Bak penampung ini berfungsi untuk menampung air yang jatuh dari bak yang berisi fill sebelum disirkulasikan ke kondensor.

c) Bak yang berisi *fill*

Fill berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara yang bergerak naik. Air yang masuk fill merupakan air yang keluar dari kondensor sehingga suhunya cukup tinggi karena membawa kalor. Pada bak fill inilah terjadi pertukaran kalor dengan udara segar sehingga fill harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara. Menurut Herlambang, 2014, bahan dan bentuk fill sangat berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor sehingga bahan fill harus kuat dan tidak mudah lapuk. Bahan-bahan pengisi biasanya terbuat dari kayu tetapi bisa juga dibuat dari plastic atau keramik. Kelereng merupakan salah satu fill yang memenuhi kriteria tersebut. Bentuknya yang kecil memperluas kontak air dengan udara. Kelereng juga mudah dibersihkan.

d) Pipa *Sprinkler*

Pipa ini terletak diatas bak fill. Fungsinya adalah untuk meratakan penyebaran air yang jatuh ke bak fill supaya kontak air dengan fill dan udara lebih efektif.

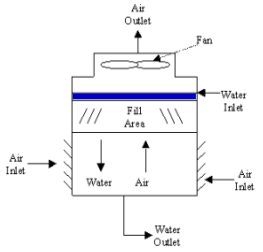
e) Kipas besar (KB) berdiameter 10 cm dengan tegangan DC 12 Volt, 1,5 A dan kipas kecil (KK) berdiameter 8 cm dengan tegangan DC 12 Volt 0,23 A

Kipas besar dipasang dibagian atas. Arah aliran angin kipas ini ke arah atas atau luar untuk menyedot panas/kalor dari air yang keluar kondensor sebelum masuk bak *fill* . Kipas kecil dipasang pada bagian kanan dan kiri boks dengan arah angin kedalam alat untuk menghembuskan udara supaya kontak dengan air yang mengalir dari bak fill ke bak penampung air. Kipas merupakan bagian terpenting dalam alat ini, karena berfungsi mensirkulasi udara yang kontak dengan air sehingga suhu air bisa turun.

f) Pompa air (PA) dengan Merk Amara aquarium product AA-3900 . Tegangan AC 220 -240 V, 60 W, Flow max 2800 l/h H max 2,8 m.

Pompa berfungsi untuk mendorong aliran air dari bak penampung yang suhunya sudah diturunkan menuju kondensor. Pada kebanyakan menara pendingin yang dipakai pada pendinginan udara menggunakan sistem pompa sentrifugal untuk menggerakan air vertical melintasi menara (Raden Suhardi Putra, 2015). Kapasitas pompa dan kecepatan laju alir air disesuaikan dengan panjang dan tinggi sirkulasi air.

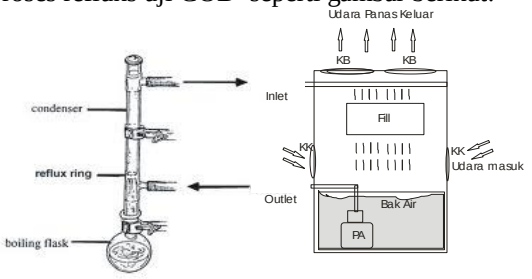
Prinsip kerjanya bisa digambarkan seperti ini:



Gambar 2. Prinsip kerja *Mini Cooling Tower*

Cooling Tower adalah suatu sistem refrigerasi yang melepaskan kalor ke udara dengan cara mengontakkan air dengan udara dan menguapkan sebagian air tersebut (Herlambang, 2014).

Mini Cooling Tower ini diaplikasikan pada proses refluks uji COD seperti gambar berikut:



Gambar 3. Rangkaian *Mini Cooling Tower* dengan kondensor pada alat refluks uji COD

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organis yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) (Alaerts, 1984)

Menurut SNI 06.6989-15:2004 prinsip pengujian Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) atau COD pada air dan air limbah adalah dengan mengoksidasi zat organis dengan campuran asam sulfat dan kalium dikromat yang sudah diketahui normalitasnya dan direfluks selama 2 jam, Kelebihan kalium dikromat yang tidak tereduksi dititrasi dengan ferro ammonium sulfat.

Proses refluks dilakukan pada titik didih asam sulfat 95% sehingga panas yang dibutuhkan antara 150 - 200°C Pada proses refluks ini uap yang timbul dikondensasi dengan kondensor supaya zat organis volatile tidak keluar. Uap akan berubah menjadi titik-titik air dan masuk kembali kedalam bejana refluks (erlenmeyer berasah). Didalam kondensor terjadi pertukaran panas antara uap zat organis yang volatil dengan air yang mengalir dalam kondensor sehingga air yang keluar kondensor mengalami kenaikan suhu. Hal ini disebabkan air mempunyai kemampuan pemindahan kalor yang lebih baik (Raden Suhardi, 2015) Jika suhu air ini tidak diturunkan, maka air yang mengalir dalam kondensor tidak bisa lagi bertukar kalor dengan uap zat organis yang volatile sehingga zat organis akan terbuang.

Air yang keluar dari kondensor masuk ke alat *mini cooling tower* melalui *pipa sprinkler*, kemudian masuk ke bak yang berisi *fill*. Pipa *sprinkler* membantu memecah aliran air menjadi percikan-percikan sehingga kontak air dengan udara menjadi lebih merata. Didalam bak *fill* terjadi kontak antara air panas dengan *fill* dan uap panas akan tertarik oleh kipas yang berada di bagian atas. Air kemudian jatuh ke dalam bak penampung. Sebelum sampai bak penampung, air akan kontak langsung dengan udara yang berasal dari kipas yang berada di sisi kanan dan kiri dengan arah angin ke dalam alat. Pada saat persinggungan antara air dan udara, sejumlah kalor akan dilepaskan oleh air yang bertemperatur lebih tinggi ke udara yang bertemperatur lebih rendah sehinga mengakibatkan temperature air akan turun (Raden Suhardi, 2015).

Air yang sudah tertampung dalam bak penampung akan dialirkan dengan pompa masuk kondensor untuk proses refluks COD.

g) *Approach, Range, dan* Efektivitas *Mini Cooling Tower*.

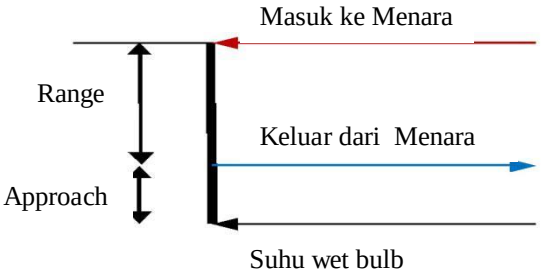
Hasil percobaan menunjukan:

Suhu inlet rata-rata = 35 ^{o}C, suhu outlet rata-rata = 27°C dan suhu udara sekitar = 25°C

Tabel 1. *Hasil perhitungan karakteristik*

No	Parameter	Hasil	Satuan
1	*Range*	8	^{o}C
2	*approach*	2	^{o}C
3	efektivitas	80	%

Suhu yang bisa diturunkan (range) sebesar 8°C yaitu dari suhu rata-rata pada inlet 35°C menjadi 27°C. Suhu ini masih terpaut 2°C dari suhu udara sekitar.



Gambar 4. Range dan approach pada menara pendingin

Prestasi sebuah *cooling tower* basah tergantung dari temperatur bola basah dari udara yang masuk, yang biasa ditunjukkan dalam hubungan *Range* dan *Approach*. *Range* adalah perbedaan temperatur antara temperatur air yang masuk dan temperatur air yang keluar dari menara pendingin. Sedangkan *Approach* adalah perbedaan temperatur antara temperatur air yang keluar dan tempperatur bola basah udara yang masuk *cooling tower.*(Herlambang, 2015)

Distribusi air yang seragam pada puncak bahan pengisi adalah penting untuk mendapatkan pembasahan yang benar dari seluruh permukaan bahan pengisi. Semakin tinggi alat maka kontak air dengan udara semakin lama sehingga suhu air akan semakin turun. *Range* akan semakin besar dan *approach* akan semakin kecil maka alat akan

semakin efektif karena mampu menurunkan suhu air dari suhu tinggi semakin mendekati suhu udara.

***Tabel 2**. Hasil Uji COD dengan proses refluks menggunakan Mini Cooling Tower, air kran dan bak penampung*

No	Jenis Sampel	Hasil Uji COD dalam mg/L		
		Mini Coling Tower	Air Kran	Bak Penampung
1	Air limbah	6800	7200	2800
		5600	5600	4000
		6400	6400	3600
	Rata-Rata	6266,7	6400	3466,7
2	Air sungai	40	44	20
		36	36	28
		36	32	24
	Rata-rata	37,3	37,3	24

Pada tabel 2 terlihat rata-rata kadar COD pada air sungai lebih kecil dari kadar COD air limbah. Menurut Alaerts Santika, angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organis yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

Parameter Chemical Oxygen Demand (COD) atau disebut juga dengan kebutuhan oksigen kimiawi merupakan salah satu identifikasi pencemaran air sehingga kadar COD pada air limbah lebih tinggi dari air sungai.

Tabel 3. *Data uji t-test kadar COD*

Sampel	Air limbah		Air sungai	
Parameter	Air Kran vs Mini Cooling Tower	Air kran vs bak penampung	Air Kran vs Mini Cooling Tower	Air kran vs bak penampung
Mean	6400	6400	34	37.3
Variance	640000	640000	8	37.3
Observations	3	3	2	3
Hypothesized Mean Difference	0	0	0	0
Df	4	4	1	3
t Stat	0.2294	5.0471	0.3721	3.1622
P(T<=t) one-tail	0.4148	0.0036	0.3866	0.0253
t Critical one-tail	2.1318	2.1318	6.3137	2.3533
P(T<=t) two-tail	0.8297	0.0072	0.7732	0.0507
t Critical two-tail	2.7764	2.7764	12.7062	3.1824

Uji t yang dilakukan dengan hipotesa:

1. H0 adalah hasil uji COD yang direfluks dengan *mini cooling tower* sama (signifikan) dengan hasil uji COD yang direfluks dengan air kran
2. H1 adalah hasil uji COD yang direfluks dengan *mini cooling tower* tidak sama (tidak signifikan) dengan hasil uji COD yang direfluks dengan air kran
3. $\alpha = 0,05$
4. Jika $P<\alpha$ maka H0 ditolak dan H1 diterima sebaliknya jika $P>\alpha$ maka H0 diterima dan H1 ditolak
5. Jika t hitung (t statistik) < t tabel (t *critical*) maka H0 diterima.

Pada tabel 3 diperoleh t-Test uji COD air limbah dan air sungai yang direfluks dengan *Mini Cooling Tower* signifikan terhadap hasil uji COD yang direfluks dengan air kran. Hal ini terlihat pada t hitung Air kran vs *Mini Cooling Tower* (0,22) lebih kecil dari t tabel (2,13 dan 2,77). Sedangkan t hitung pada hasil uji COD yang direfluks dengan air kran vs bak penampung adalah 5,04 dan 3,16. Hal ini lebih besar dari t tabelnya sehingga hasil uji COD yang direfluks dengan bak penampung tidak signifikan.

Refluks yang hanya menggunakan bak penampung panasnya akan terakumulasi sehingga air dalam bak semakin lama semakin meningkat. Hal ini menyebabkan air tidak mampu lagi mengembunkan uap panas yang melalui kondensor sehingga banyak zat organik yang hilang dan hasilnya jauh dibawah hasil sebenarnya.

Kemampuan *mini cooling tower* dalam menurunkan suhu air sebesar 8^oC sudah sesuai dengan target meskipun efektivitasnya hanya mencapai 80%. Selama proses refluks mampu mengembunkan uap air sehingga tidak banyak zat organis yang terbuang. Hal ini didukung dengan hasil uji COD seperti tabel 2 dan hasil Uji t-test pada tabel 3. Namun demikian masih perlu dilakukan validasi metode uji COD guna mengetahui ada tidaknya penyimpangan tujuan metode uji.

Kesimpulan

1. Perancangan
Mini Cooling Tower didesain sebagai menara pendingin mekanik *draft-induced* (aliran berlawanan) dengan dimensi 40 x 30 x 85 cm

2. Karakteristik
Karakteristik alat ini ditunjukan dengan perhitungan range sebesar 8^oC , approach 2 ^oC dan efektivitas nya 80%.

3. Perbandingan hasil uji COD
   Hasil uji COD yang direfluks dengan *mini cooling tower*, (sama) siginfikan dengan hasil uji COD yang direfluks dengan air kran

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Jenderal Soedirman yang telah mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami tujukan kepada Dekan Fakultas Biologi dan Kepala Laboratorium Lingkungan Fakultas Biologi yang telah mengijinkan kami untuk melakukan penelitian.

Daftar Pustaka

United Nations Enviromental Programme (UNEP), 2008. Peralatan Energi Listrik: Menara Pendingin, Pedoman Efisiensi Industri di Asia. Diakses www.energyefficiencyasia.org. tanggal 11 Juli 2017

Mulyono, Analisa Beban Kalor Menara Pendingin Basah *Induced-Draft* Aliran Lawan Arah
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang Jl. Prof. H. Sudarto S.H., Tembalang, Kotak Pos 199/SMS, Semarang, 50275 Telp. 024-7473417, 7466420 (hunting), Fax. 024-7472396

Wibisono Yusuf, 2005. Perbandingan Unjuk Kerja Antar Bahan Pengisi Pada Menara Pendingin Tipe *Induced Counter Flow*. Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, FTP – Unibraw Email: y_wibisono@brawijaya.ac.idJurnal Teknologi Pertanian, Vol. 6 No. 3 (Desember 2005) 152 – 162

BSN, 2004. SNI 06 - 6989.15-2004 Bagian Air dan Air Limbah: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) Refluks Terbuka secara Titrimetri.
Prasetyo Teguh , Perancangan Desain Ergonomi Ruang Proses Produksi Untuk Memperoleh Kenyamanan Termal Alami. Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura Jl. Raya Telang Po Box 2 Kamal, Bangkalan *Email : tyo_teguhprasetyo@yahoo.com*

Suciyati Ulfa, dkk. Uji Beda. Diakses http://statistikapendidikan.com Copyright © 2013 StatistikaPendidikan.Com tanggal 6 Oktober 2014.

Yoharko Anjar, 2004. Perancangan Menara Pendingin Counterflow di PLTU Gresik. Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Sembiring Ferry, 2008. Pengaruh Penggunaan Media Bahan Pengisi (Filler) PVC Dengan Tinggi 22,5 cm dan Diameter 70 cm Terhadap Kinerja Menara Pendingin Jenis Induced-Draft Counter Flow. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan

Raden Suhardi Putra, 2015. Analisa Perhitungan Beban Coling Tower Pada Fluida Di Mesin Injeksi Plastik. Jurusan teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana. Jurnal JTM vol.04,No 2, Juni 2015

Herlambang,R.B.,A.Pambudi,I.Al Ayubbi,Aziz Setyoko, 2014. Rancang Bangun Test Bed Cooling Tower counter Flow. Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro