

ANALISIS UNJUK KERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTER FLOW* DENGAN BAHAN PENGISI ASBES

Fachriza Putra Pratama¹, Digdo Listyadi Setyawan², Mochamad Edoward Ramadhan²

¹Alumni Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

²Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember JL Kalimantan 37 Jember 68121

Email: digdolistya@gmail.com

ABSTRACT

Industrial development is one of the economic components that influences national economic growth. Increased industrial growth is also aimed at realizing national goals for the welfare of society. In the industrial process, the machine generates heat as a side effect of the machine's work, so it requires a cooling system for its continued work. The facilities used by the industry to overcome these problems are by using cooling towers. One of the factors that influence the cooling tower performance is the filler. Asbestos is a material that has a thin and corrugated sheet shape. This material is made of the mineral silica and fine fibers. Asbestos material has many benefits and roles in industrial activities. The purpose of this study was to determine the effect of asbestos filler on cooling tower performance induced draft counter flow on the effect of variations in initial water temperature and air velocity, and the effect of effectiveness, water-air ratio, cooling capacity, evaporation loss and L / G value. This research on the performance of cooling towers with asbestos fillers obtained a higher value of effectiveness and cooling capacity than cooling towers without using fillers. This is evidenced by the highest value of effectiveness obtained by cooling towers using fillers of 83.26%, while the highest value for cooling towers without using fillers is 80.24%. The highest value of cooling capacity in a cooling tower using filler material is 10.34 kJ / s, while the highest value for a cooling tower without using a filler is 9.70 kJ / s.

Keywords: Asbestos, Cooling tower, Industry

PENDAHULUAN

Pembangunan industri merupakan satu di antara komponen perekonomian yang berpengaruh dalam pertumbuhan ekonomi nasional. Persaingan antar pelaku usaha industri semakin meningkat, hal ini disebabkan karena pesatnya pembangunan dan pertumbuhan industri di pasar global. Pada tahun 2020 perekonomian Indonesia di targetkan tumbuh 4,80% - 5,30%, lebih tinggi dibandingkan pertumbuhan 2019 yang sebesar 4,48% - 4,60% [1]. Bertambahnya pertumbuhan industri juga untuk mewujudkan tujuan nasional agar dapat mensejahterakan masyarakat. Pertumbuhan ekonomi suatu negara ditunjukkan dari perkembangan pendapatan negara di bidang produksi barang dan jasa, seperti bertambahnya jumlah produksi barang industri [2].

Kegiatan pengolahan barang dari barang yang masih mentah hingga menjadi barang setengah jadi atau menjadi barang jadi yang memiliki nilai kegunaan yang lebih tinggi disebut sebagai proses produksi. Di dunia industri, banyak sekali membutuhkan fasilitas pendukung seperti mesin skala besar untuk proses produksi. Dalam proses industri mesin menghasilkan panas (kalor) sebagai efek samping dari kerja mesin sehingga, membutuhkan sistem pendinginan untuk kelangsungan kerjanya. Sistem pendinginan pada suatu mesin sangat diperlukan, agar mesin bekerja dengan efisien dan tidak menghambat dari proses produksi. Fasilitas yang digunakan industri guna mengatasi

permasalahan tersebut, yaitu dengan menggunakan menara pendingin (*cooling tower*)

Cooling tower merupakan alat penukar panas atau kalor yang menggunakan udara dan air sebagai fluida kerja. Fluida tersebut mempunyai fungsi untuk menurunkan suhu air panas yang masuk ke dalam *cooling tower* dengan cara mengontak langsung dengan udara yang menyebabkan beberapa bagian air menguap. *Cooling tower* menggunakan prinsip penguapan dan perpindahan panas, dimana sebagian air diuapkan untuk dibuang ke atmosfer dengan menggunakan bantuan aliran udara [3]. Fungsi dari *cooling tower* yaitu memproses air panas menjadi air dingin, dimana panas dari air akan dibuang ke lingkungan, panas yang keluar dari *cooling tower* merupakan panas yang hilang dari air [4]. *Cooling tower* dalam proses industri sangat diperlukan, agar air yang telah digunakan dalam proses produksi dapat digunakan kembali setelah melewati proses pendinginan [5]. Karakteristik *cooling tower* pada umumnya diukur dengan perbandingan antara data *approach*, *range*, dan *cooling load*.

Cara kerja *cooling tower* adalah perpindahan kalor dan pelepasan kalor. Perpindahan kalor pada *cooling tower* berlangsung dari air ke udara [6]. Prinsip *cooling tower induced* jenis *draft counterflow* yaitu pendinginan air dilakukan berlawanan dengan arah aliran udara di dalam

cooling tower. Didalam *cooling tower* terdapat bahan pengisi berfungsi sebagai fasilitas untuk memperlambat tingkat jatuhnya air dan terjadi perpindahan panas yang dihasilkan dari uap dengan memaksimalkan kontak udara dan air. *Filler* harus memiliki sifat yang kuat, ringan, tahan lapuk, dan tahan kerusakan jika terkena air maupun udara [7]. Kipas pada *cooling tower* jenis ini ditempatkan pada bagian keluar menara sehingga udara yang berada pada sisi samping *cooling tower* akan dihisap dan kipas akan menarik udara ke atas menara [8].

Penelitian Faizah (2020) meneliti tentang analisa penggunaan bahan pengisi *alumunium semircular arc* terhadap performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow*. Hasil penelitian ini menunjukkan dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan suhu air masuk akan memperbesar penurunan suhu dan nilai kapasitas pendinginan yang didapatkan sebesar 1.918,85 J/s [9].

Penelitian Sobirin (2016) meneliti tentang Analisis Variasi Kecepatan Fluida Dan Jarak Pengisi Serat Ijuk Pada *Cooling Tower Forced Draft Conterflow*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan fluida dan variasi jarak pengisi. Variasi kecepatan fluida air yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,14 m/s, 1,29 m/s dan 1,55 m/s dan penambahan jarak bahan pengisi 20 cm, 30 cm, dan 40 cm [10].

Penelitian Syaiful (2016) meneliti tentang Analisa Kinerja *Cooling Tower Forced Draft Counterflow* Dengan Pengisi *Calciboard*. Hasil percobaan atau penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kecepatan udara mengakibatkan panas yang berpindah ke udara semakin banyak. Semakin kecil sudut kemiringan pengisi membuat waktu kontak udara dengan air semakin lama dan panas yang berpindah semakin banyak [11].

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari bahan pengisi dengan menggunakan asbes terhadap efektivitas, rasio air dan udara, kapasitas pendinginan, kehilangan penguapan, dan nilai L/G.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental, yaitu dengan menggunakan variasi suhu awal, kecepatan udara, dan variasi jarak antar bahan pengisi *cooling tower*. Pengamatan dilakukan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen, guna untuk mendapatkan data empiris. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Baru Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Satu *unit cooling tower induced counter flow* dengan tinggi 250 cm, dan dapat dilihat pada gambar 1.
- Bahan pengisi Asbes bergelombang dengan ketinggian 15 cm dan jarak antar asbes 3 cm, dan dapat dilihat pada Gambar 3.
- *Voltage regulator* untuk mengatur kecepatan
- Pompa air

- Kompor LPG
- Pengukur suhu udara dan kelembapan

Variabel bebas

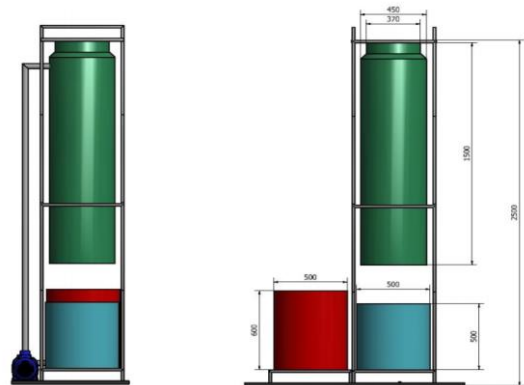
- Suhu air masuk yang divariasikan sebesar 50 °C, 60 °C, 70 °C.
- Kecepatan udara tanpa bahan pengisi dan dengan menggunakan bahan pengisi sebesar 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s
- Jarak antar *layer* sebesar 10 cm, 15 cm, 20 cm

Variabel terikat

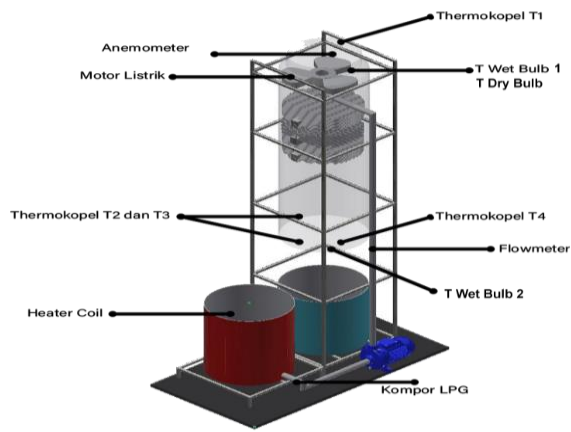
- Suhu air keluar (T_2)
- Suhu bola basah (T_{wb})
- Suhu bola kering (T_{db})

Prosedur Pengujian

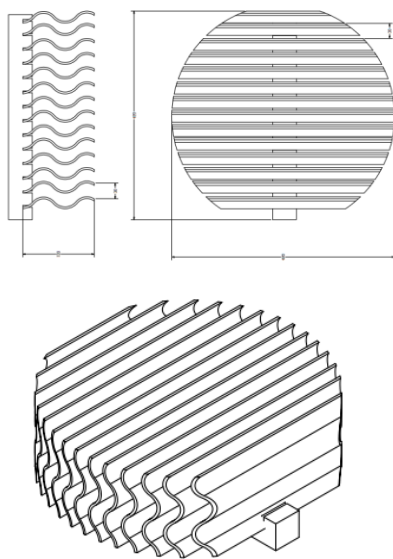
- Mempersiapkan bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian;
- Merangkai komponen-komponen *cooling tower*, memasang bahan pengisi asbes dibawah nozzle sesuai dengan variasi tinggi yang ditentukan, *heater* serta memasang thermokopel pada titik-titik tertentu, dan dapat dilihat pada Gambar 2;
- Panaskan air pada bak penampungan dengan menggunakan *heater* dengan tingkat suhu sesuai variasi suhu yang ditentukan dan hidupkan *fan* dengan kecepatan udara sesuai variasi;
- Hidupkan pompa air yang sudah terpasang di *cooling tower*;
- Selanjutnya mengoperasikan alat pengujian hingga sistem dan aliran air dapat berjalan dengan baik;
- Mencatat suhu yang ditunjukkan oleh alat ukur sesuai dengan variasi yang digunakan;
- Pengumpulan data yang didapatkan dan dilanjutkan dengan pengolahan data;
- Kemudian dari pembahasan tersebut diambil kesimpulan dari hasil penelitian.



Gambar 1. *Cooling tower induced draft counter flow*



Gambar 2. Skema rangkaian *cooling tower induced draft counter flow*



Gambar 3. *Cooling tower* berbahan Asbes

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Pengujian

Menurut literatur variabel terikat atau parameter yang digunakan untuk menentukan unjuk kerja *cooling tower* yaitu dengan menggunakan Temperatur air Masuk (T1), Temperatur air keluar (T2), Temperatur udara bola basah (Twb), dan Temperatur udara bola kering (Tdb). Data yang diperoleh disajikan pada Tabel 1-4.

Tabel 1. Hasil pengujian tanpa bahan pengisi

Kecepatan Udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb (°C)	Tdb (°C)	Qudara (kg/s)	Qair (kg/s)
4	50,00	32,4	28	31	1,72	0,070
	60,00	36,004	29	32	1,72	0,070
	70,00	40,704	27,5	30	1,72	0,070
6	50,00	32,056	27,5	31	2,58	0,070
	60,00	34,426	26,5	29	2,58	0,070
	70,00	36,189	27,5	29	2,58	0,070
8	50,00	31,104	27,5	30	3,44	0,070
	60,00	31,915	26,5	31	3,44	0,070
	70,00	37,193	28	32	3,44	0,070

Tabel 2. Hasil pengujian dengan jarak asbes 10 cm

Kecepatan Udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb (°C)	Tdb (°C)	Qudara (kg/s)	Qair (kg/s)
4	50,00	33,874	26,5	31	1,72	0,070
	60,00	34,452	27	31	1,72	0,070
	70,00	35,030	28	32	1,72	0,070
6	50,00	33,837	28,5	30	2,58	0,070
	60,00	32,815	26,5	30	2,58	0,070
	70,00	38,341	29	32	2,58	0,070
8	50,00	33,256	28,5	30	3,44	0,070
	60,00	32,085	26	30	3,44	0,070
	70,00	37,726	28,5	31	3,44	0,070

Tabel 3. Hasil pengujian dengan jarak asbes 15 cm

Kecepatan Udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb (°C)	Tdb (°C)	Qudara (kg/s)	Qair (kg/s)
4	50,00	34,17	28,5	30	1,72	0,070
	60,00	36,00	28,5	31	1,72	0,070
	70,00	36,867	29,5	32	1,72	0,070
6	50,00	33,674	28,5	30	2,58	0,070
	60,00	33,781	28	31	2,58	0,070
	70,00	36,259	29,5	32	2,58	0,070
8	50,00	33,515	28,5	30	3,44	0,070
	60,00	33,241	28	30	3,44	0,070
	70,00	36,007	29,5	31	3,44	0,070

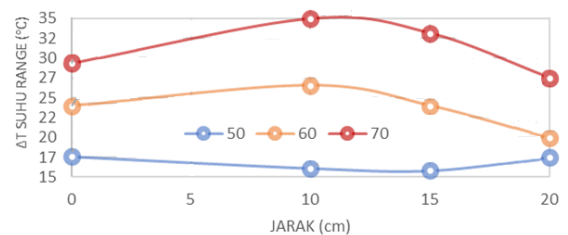
Tabel 4. Hasil pengujian dengan jarak asbes 20 cm

Kecepatan Udara (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb (°C)	Tdb (°C)	Qudara (kg/s)	Qair (kg/s)
4	50,00	32,522	27,5	29	1,72	0,070
	60,00	40,085	30,5	32	1,72	0,070
	70,00	45,522	33,5	35	1,72	0,070
6	50,00	32,337	27,5	29	2,58	0,070
	60,00	36,539	29,5	32	2,58	0,070
	70,00	41,107	33,5	35	2,58	0,070
8	50,00	31,533	26,5	28	3,44	0,070
	60,00	35,648	28,5	30	3,44	0,070
	70,00	38,552	27,5	34	3,44	0,070

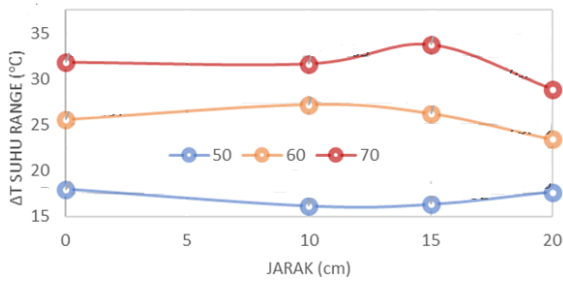
Dari data yang didapatkan akan digunakan untuk perhitungan *range*, *Approach*, rasio air dan udara, kapasitas pendinginan, kehilangan penguapan, rasio *liquid* dan *gas*, dan efektivitas.

Range

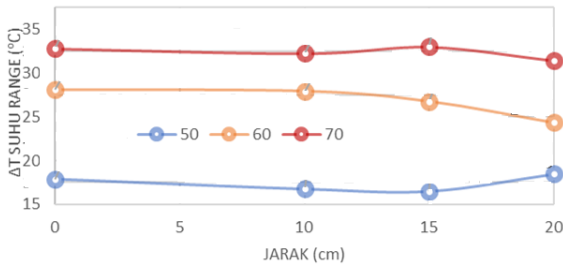
Range merupakan selisih antara temperatur air masuk dan temperatur air keluar *cooling tower*. Data *range* didapatkan dari perhitungan temperatur air masuk *cooling tower* (T1) dikurangi dengan temperatur air keluar *cooling tower* (T2). Data perhitungan *range* rata-rata dari semua variasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 4-6.



Gambar 4. Grafik rata-rata hasil perhitungan *range* dengan V udara 4 m/s



Gambar 5. Grafik rata-rata hasil perhitungan range dengan V udara 6 m/s

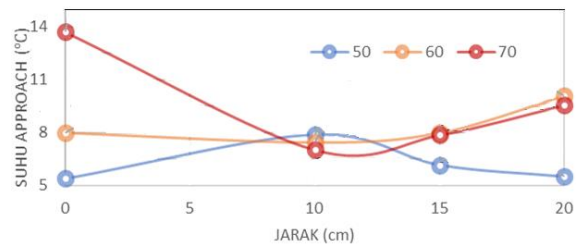


Gambar 6. Grafik rata-rata hasil perhitungan range dengan V udara 8 m/s

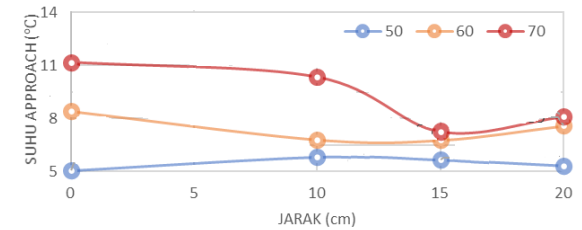
Pada gambar di atas didapatkan hasil bahwa kenaikan nilai range (ΔT) dipengaruhi dengan variasi yang digunakan. Penambahan suhu awal mengakibatkan nilai range semakin besar, karena semakin besar perbedaan temperatur air masuk dan temperatur air keluar akan menyebabkan perubahan nilai yang besar. Selain itu, pengaruh kenaikan ΔT diperoleh dari debit udara yang digunakan dengan cara mengatur tegangan listrik pada motor penggerak kipas. Selain faktor penambahan bahan pengisi (*filler*) dan kecepatan udara, besarnya nilai penurunan temperatur air pada *cooling tower* juga dipengaruhi oleh temperatur udara sekitar dan kondisi saat penyemprotan yang dilakukan oleh *nozzle* [12]. Nilai laju perpindahan panas yang didapatkan menunjukkan kinerja *cooling tower* dalam pertukaran panas antara aliran air panas dengan aliran udara pendingin [13]. Data temperatur range (ΔT) tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini terjadi pada variasi kecepatan udara 4 m/s dengan suhu awal 70 °C sebesar 34,97 °C. temperatur range (ΔT) terendah yang didapatkan yaitu sebesar 16,12 °C pada variasi kecepatan udara 4 m/s dan dengan suhu awal 50 °C.

Approach

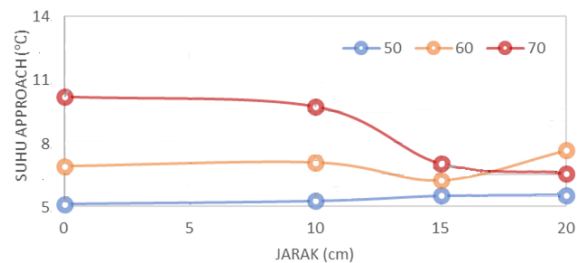
Approach merupakan perbedaan antara suhu air keluar *cooling tower* (T2) dengan suhu bola basah atau *wet bulb* (Twb). Data *approach* diperoleh dengan cara, perhitungan suhu air keluar *cooling tower* (T2) dikurangi dengan suhu bola basah (Twb). Suhu bola basah (Twb) *cooling tower* selalu lebih rendah dari suhu bola kering (Tdb) [14]. Data hasil perhitungan *approach* rata-rata dari semua variasi dapat dilihat pada Gambar 7-9.



Gambar 7. Grafik approach cooling tower dengan V udara 4 m/s



Gambar 8. Grafik approach cooling tower dengan V udara 6 m/s



Gambar 9. Grafik approach cooling tower dengan V udara 8 m/s

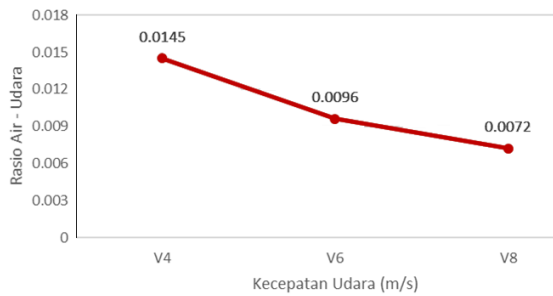
Pada gambar di atas menunjukkan bahwa nilai *approach* semakin menurun seiring dengan variasi yang digunakan. Penurunan nilai *approach*, dikarenakan oleh temperatur air masuk *cooling tower* (T1) dan temperatur air keluar *cooling tower* (T2) yang tinggi, sementara nilai temperatur bola basah udara masuk (Twb) relatif tetap. Penurunan nilai *approach* juga terjadi karena susunan dari bahan pengisi dan peningkatan debit udara yang digunakan [15]. Nilai *approach* juga dipengaruhi oleh putaran kipas, jika putaran kipas semakin cepat akan meningkatkan kecepatan udara yang mengakibatkan temperatur air keluar *cooling tower* (T2) semakin dingin karena uap panas yang dihasilkan dari air lebih cepat berpindah menuju udara.

Unjuk kerja *cooling tower* semakin baik jika *approach* menunjukkan nilai yang rendah. Pada *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi, Nilai *approach* terendah didapatkan pada variasi temperatur awal 50 °C. dengan kecepatan udara 6 m/s yaitu sebesar 5,05 °C. Sedangkan pada *cooling tower* dengan menggunakan bahan pengisi, terendah didapatkan pada variasi temperatur awal 50 °C. dan jarak 10 cm antar bahan pengisi dengan kecepatan udara 8 m/s yaitu sebesar 5,25 °C. pada jarak 10 cm. Pemilihan *cooling tower* dengan nilai *approach* yang rendah atau kecil akan meningkatkan nilai

efisiensi *chiller*, tetapi akan menambah konsumsi energi dari kipas dan biaya awal yang dibutuhkan.

Rasio Air dan Udara

Nilai rasio air dan udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu *cooling tower*. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak diinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh kipas. Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka nilai rasio semakin kecil. Data hasil perhitungan rasio air dan udara rata-rata dari semua variasi dapat dilihat pada Gambar 10.

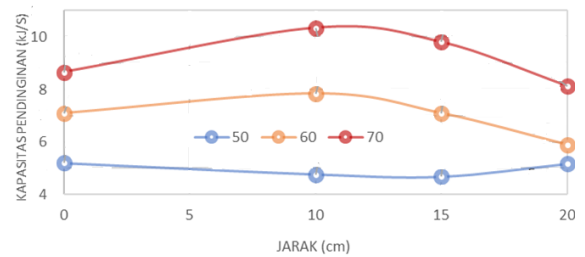


Gambar 10. Grafik rasio air-udara *cooling tower*

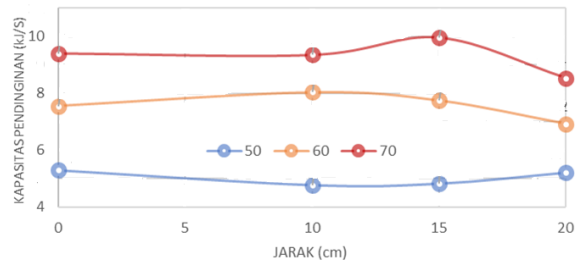
Penurunan nilai rasio ini juga terjadi karena adanya perubahan kecepatan udara yang terjadi pada *cooling tower*. Kecepatan kipas sangat berpengaruh terhadap nilai rasio karena semakin cepat putaran kipas, maka nilai rasio semakin kecil. Pengaruh turunnya rasio ini dikarenakan semakin cepat udara yang masuk ke dalam *cooling tower*, sedangkan volume air yang masuk relatif tetap maka menyebabkan nilai rasio akan semakin kecil atau menurun. Nilai rasio tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 0,0145 yang diperoleh dari variasi kecepatan udara 4 m/s. Nilai rasio terendah terjadi pada variasi kecepatan udara 8 m/s yaitu sebesar 0,0072. Dalam hal ini bahan pengisi pada *cooling tower* tidak memiliki pengaruh terhadap nilai rasio perbandingan antara air dengan udara yang masuk. Sehingga nilai rasio air dengan udara yang didapatkan dari *cooling tower* tanpa menggunakan bahan pengisi dengan menggunakan bahan pengisi mendapatkan nilai yang sama. Karena bahan pengisi dalam *cooling tower* berfungsi untuk memperlama kontak antara air dengan udara.

Kapasitas Pendinginan

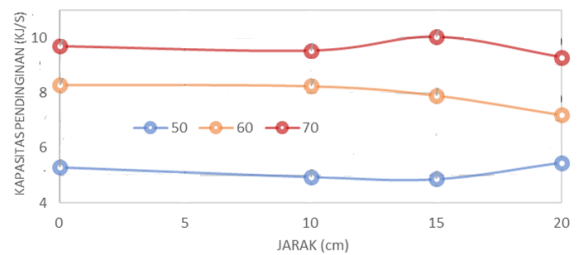
Kapasitas pendinginan merupakan panas yang dibuang dalam kKal/jam atau kJ/s, sebagai hasil dari kecepatan aliran massa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. Kapasitas pendinginan *cooling tower* adalah setara dengan kemampuan *cooling tower* tersebut dalam membuang panas ke lingkungan. Semakin tinggi nilai kecepatan udara dan penambahan suhu air masuk dengan bahan pengisi, maka kapasitas pendinginan akan semakin naik. Data hasil perhitungan kapasitas pendinginan rata-rata dari semua variasi dapat dilihat grafik kapasitas pendinginan *cooling tower* dapat dilihat pada Gambar 11-13 .



Gambar 11. Grafik kapasitas pendingin *cooling tower* dengan V udara 4 m/s



Gambar 12. Grafik kapasitas pendingin *cooling tower* dengan V udara 6 m/s



Gambar 13. Grafik kapasitas pendingin *cooling tower* dengan V udara 8 m/s

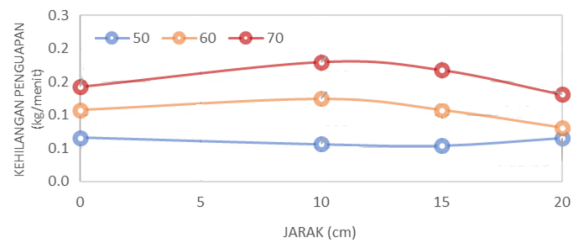
Pada gambar di atas memperlihatkan secara keseluruhan kapasitas pendinginan akan semakin naik dengan variasi yang digunakan. Pengaruh ini memiliki kesesuaian yang dialami dengan perubahan ΔT . Kemampuan *cooling tower* untuk membuang panas ke lingkungan juga dipengaruhi oleh temperatur air yang masuk dan kecepatan udara, hal ini dibuktikan dengan data yang disajikan dalam grafik di atas. Setiap terjadi kenaikan temperatur suhu air awal maka kapasitas pendinginan juga akan meningkat. Kapasitas pendinginan tertinggi dengan menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70 °C. dengan kecepatan udara udara 4 m/s yaitu 10,34 kJ/s pada jarak 10 cm antar bahan pengisi. Dan nilai kapasitas pendingin terendah diperoleh pada variasi suhu awal 50 °C. dengan kecepatan udara 4 m/s yaitu 4,68 kJ/s.

Kapasitas pendinginan tertinggi jika tanpa menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70 °C. dengan kecepatan udara udara 8 m/s yaitu 9,70 kJ/s dan nilai kapasitas pendingin terendah diperoleh pada variasi suhu awal 50 °C. dengan kecepatan udara 4 m/s yaitu 5,20 kJ/s. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan bahan pengisi dengan variasi temperatur awal akan meningkatkan kapasitas

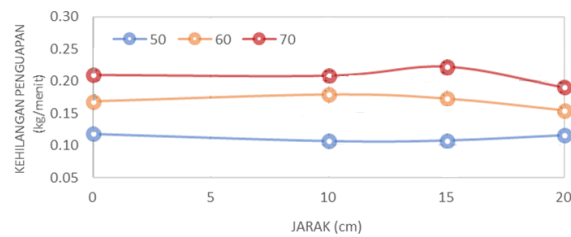
pendinginan dibandingkan dengan *cooling tower* dengan variasi yang sama tanpa menggunakan bahan pengisi

Kehilangan Penguapan

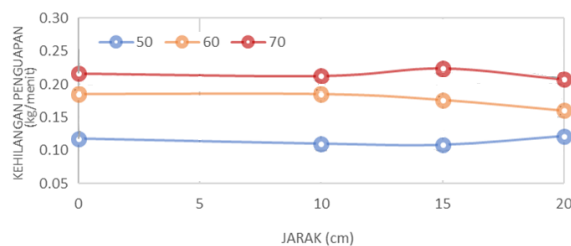
Kehilangan penguapan merupakan jumlah air yang diuapkan untuk proses pendinginan. Proses penguapan inilah yang menjadi salah satu prinsip dasar dan parameter penting dari *cooling tower* untuk mendinginkan air. Secara teoritis jumlah penguapan mencapai $1,8 \text{ m}^3$ untuk setiap $10.000.000 \text{ kkal}$ panas yang dibuang. Rumus berikut dapat digunakan Perry (1997) yaitu [16]. Kehilangan Penguapan ($\text{m}^3/\text{jam}^\circ\text{C}$) = $0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi} (\text{m}^3/\text{jam}) \times (T_1 - T_2)$. Data hasil perhitungan kehilangan penguapan rata-rata dari semua variasi dapat dilihat pada Gambar 14-16.



Gambar 14. Grafik kehilangan penguapan *cooling tower* dengan V udara 4 m/s



Gambar 15. Grafik kehilangan penguapan *cooling tower* dengan V udara 6 m/s



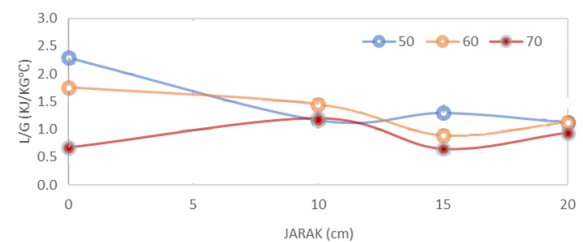
Gambar 16. Grafik kehilangan penguapan *cooling tower* dengan V udara 8 m/s

Pada gambar di atas memperlihatkan laju penguapan air mengalami kenaikan pada semua variasi temperatur awal dan kecepatan udara. Penguapan lebih cepat dikarenakan terjadi penambahan kecepatan udara di *cooling tower* yang menjadikan tekanan di dalam *cooling tower* menurun dan mengakibatkan penguapan menjadi lebih cepat. Kecepatan udara yang melalui *cooling tower* sangat berpengaruh terhadap performa *cooling tower*. Salah satu pengukuran performa *cooling tower* yaitu dengan mengukur laju penguapan air atau kehilangan penguapan, karena semakin cepat laju aliran udara maka kehilangan penguapan menjadi semakin

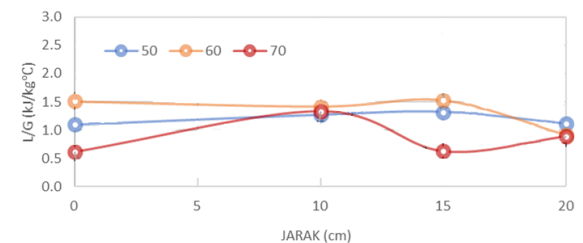
besar. Kehilangan penguapan tertinggi jika menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70°C dengan kecepatan udara 4 m/s yaitu $0,23007 \text{ kg/menit}$ pada jarak 10 cm antar bahan pengisi dan Kehilangan penguapan tertinggi jika tanpa menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70°C dengan kecepatan udara 8 m/s yaitu $0,21584 \text{ kg/menit}$.

L/G (Rasio Liquid dan Gas)

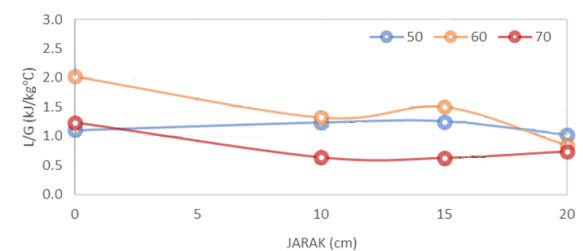
Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju kalor yang dilepas dari air (dq) sama dengan laju kalor yang diterima udara [17]. Melalui prinsip termodinamika diketahui bahwa panas yang dibuang dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya. Data hasil L/G rata-rata dari semua variasi dapat dilihat pada Gambar 17-19.



Gambar 17. Grafik L/G *cooling tower* dengan V udara 4 m/s



Gambar 18. Grafik L/G *cooling tower* dengan V udara 6 m/s



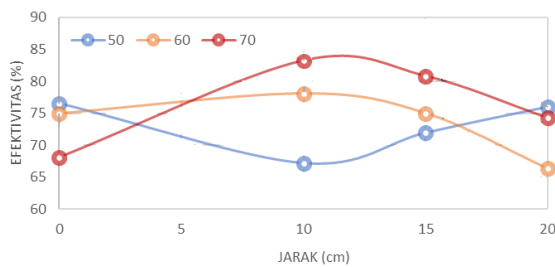
Gambar 19. Grafik L/G *cooling tower* dengan V udara 8 m/s

Jumlah nilai rasio antara *liquid – gas* yang diperoleh lebih besar terjadi pada nilai *range cooling tower* yang lebih tinggi juga [18]. Kenaikan dan penurunan ini disebabkan karena pengaruh dari perubahan entalpi (Δh). Nilai entalpi (Δh) yang diperoleh, dapat ditentukan menggunakan grafik psikometrik dengan melihat dan memasukkan variabel-variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan [19]. Semakin besar nilai entalpi udara dan hasil selisih antara nilai temperatur air masuk

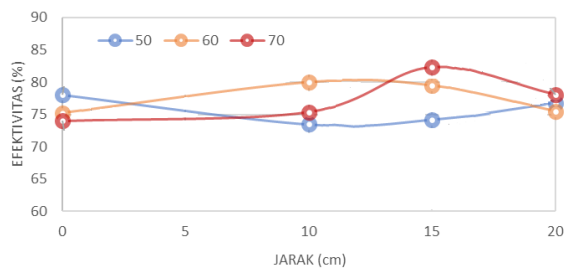
dan keluar (*range*), maka semakin besar juga perbandingan nilai L/G. Semakin kecil nilai mendekati Δh , maka perbandingan L/G akan menjadi semakin baik.

Efektivitas Cooling tower

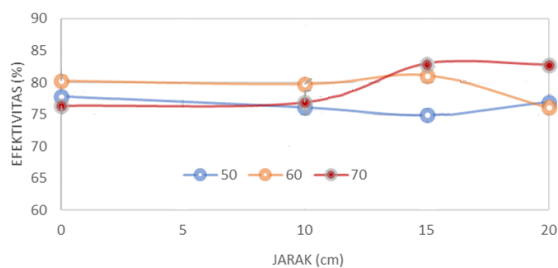
Efektivitas *cooling tower* merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam presentase), yaitu selisih antara temperatur masuk air (T1) dan temperatur bola basah (Twb). Atau dengan kata lain adalah $Range/(Range+Approach)$. Semakin tinggi perbandingan antara nilai *range* dan *range* ideal, maka semakin tinggi efektivitas *cooling tower* [20]. Data hasil perhitungan nilai efektivitas pendinginan rata-rata dari semua variasi dapat dilihat pada Gambar 20-22 .



Gambar 20. Grafik efektivitas *cooling tower* dengan V udara 4 m/s



Gambar 21. Grafik efektivitas *cooling tower* dengan V udara 6 m/s



Gambar 22. Grafik efektivitas *cooling tower* dengan V udara 8 m/s

Kenaikan dan penurunan nilai efektivitas dari *cooling tower* sangat dipengaruhi oleh suhu lingkungan dan beberapa faktor yang mempengaruhi unjuk kerja dari *cooling tower* [21]. Grafik efektivitas pada gambar diatas dapat dilihat bahwa, secara keseluruhan nilai efektivitas pendinginan akan mengalami peningkatan setiap variasi temperatur awal dan penambahan kecepatan udara. Efektivitas *cooling tower* menurun jika nilai *range* rendah tetapi terjadi kenaikan di temperatur bola basah (Twb). Temperatur bola basah

(Twb) merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan unjuk kerja *cooling tower*, karena temperatur bola basah (Twb) udara masuk *cooling tower* akan menentukan tingkat suhu operasi di pabrik atau sistem [22].

Dari gambar dapat dilihat, efektivitas *cooling tower* tertinggi dengan menggunakan bahan pengisi diperoleh pada variasi temperatur awal 70 °C dan kecepatan udara 4 m/s sebesar 83,26% pada jarak 10 cm antar bahan pengisi. Sedangkan, jika tanpa menggunakan bahan pengisi, efektivitas *cooling tower* tertinggi diperoleh pada variasi temperatur awal 60 °C dan kecepatan udara 8 m/s sebesar 80,24%

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibahas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Penggunaan bahan pengisi asbes bergelombang dengan peningkatan variasi kecepatan udara dan temperatur suhu air masuk mampu meningkatkan efektivitas dari *cooling tower*. Efektivitas tertinggi *cooling tower* dengan menggunakan bahan pengisi asbes sebesar 83,26% pada variasi temperatur awal 70 °C kecepatan udara 4 m/s, dan jarak 10 cm
- Nilai rasio air dan udara ditentukan oleh kecepatan udara yang masuk ke dalam *cooling tower*. Rasio air dan udara tertinggi dengan nilai 0.0145 diperoleh pada kecepatan udara 4 m/s.
- Nilai kapasitas pendinginan tertinggi dengan menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70 °C dengan kecepatan udara 4 m/s yaitu 10,34 kJ/s pada jarak 10 cm antar bahan pengisi. Sedangkan nilai kapasitas pendinginan tertinggi tanpa menggunakan bahan pengisi didapatkan nilai 9,70 kJ/s pada variasi suhu awal 70 °C dengan kecepatan udara 8 m/s.
- Nilai kehilangan penguapan tertinggi dengan menggunakan bahan pengisi didapatkan pada variasi suhu awal 70 °C dengan kecepatan udara 4 m/s yaitu 0,23007 kg/menit pada jarak 10 cm antar bahan pengisi.
- Nilai L/G terbaik dalam penelitian ini diperoleh pada variasi suhu awal 60 °C dengan kecepatan udara 8 m/s dengan nilai 1,02 kJ/kg°C pada jarak 20 cm antar bahan pengisi

SARAN

Dari hasil penelitian *cooling tower* induced draft counterflow dengan bahan pengisi asbes yang sudah selesai dilaksanakan, maka perlu disampaikan beberapa saran yaitu sebagai berikut:

- Penelitian ini dapat dikembangkan atau dilanjutkan dengan pemodelan atau simulai dengan menggunakan *Software Ansys*.
- Variasi yang dapat mempengaruhi prestasi kerja mesin dan dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya yaitu seperti variasi *nozzle*, material bahan pengisi, bentuk bahan

pengisi, penggantian jenis kipas, variasi debit air dan udara, serta lama waktu pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Guwiwang, A. 2020. Pertumbuhan Industri. <https://kemenperin.go.id/artikel/21346/Kemenperin-Bidik-Industri-Tumbuh-5,3-Persen-Tahun-2020>;
- [2]Sukirno, Sadono. 2011. *Makro Ekonomi Teori Pengantar*, Edisi Ketiga. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada
- [3] Efendi, A. dan Wirza, R. 2013. Perancangan Sistem Scada Cooling tower Menggunakan Siemens Simatic Step 7 Dan Wincc. *Jurnal Teknoif*. 1(1): 6-14;
- [4]Patil, M. M., Patil, S. J., Patil, P. S., dan Mehta, S. J. 2018. Design and Analysis of Cooling tower. *International Research Jurnal of Engineering and Technology(IRJET)*. 5(2): 2240-2245;
- [5]Ayyam, K., Sari, M. P., Ma'sum, Z., Diah, W. 2018. Perbandingan Kerja Antar Bahan Pengisi Pada Menara *Cooling tower* Dengan Sistem Destilasi Uap. *Jurnal Eureka*. 2(1): 19-29;
- [6] Hakim, A. A. R., Sutrisno., Jatmiko, A. T. 2019. Review Reactor Operation Safety On Performance Of Cooling tower After 30 Years Operation. *Jurnal Batan*. 16(1): 1-21;
- [7]Ramkrishnan, R. dan Ragupathy, A. 2014. Optimization of Cooling tower Performance with Different Types of Packing Using Taguchi Approach. Brazil: *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 1 (1): 1-8;
- [8]Aprianti, T., Priyantama, E. D., Tanuwijaya, F. I. 2018. Menghitung Efisiensi dan Losses Cooling tower Unit Refinery PT Wilmar Nabati Indonesia Pelintung. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(24): 57-59;
- [9] Faizah, E. N. 2020. "Analisis Performa Cooling Tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan pengisi Alumunium Semicircular Arc". Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- [10] Sobirin. A. 2016. "Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk pada Cooling Tower Forced Draft Counter Flow". Skripsi. Jember: Teknik Mesin. Universitas Jember.
- [11] Syaiful A. 2016. "Analisis Kinerja Cooling Tower Forced Draft Counter Flow dengan Pengisi Calciboard Ditinjau dari Kecepatan Udara dan Kemiringan Pengisi". Skripsi. Jember: Teknik Mesin. Universitas Jember.
- [12]Sastrawan, I.K.G., dan Subagyo, R. 2020. Analisa Perpindahan Panas *Cooling tower* (Induced Draft) PLTU 1 Pulang Pisau (2 X 60 MW). *Jurnal rotary* 2(2): 171-182;
- [13]Hamid, A., Karim, L., Jamroni, M., 2017. Pengaruh Bentuk Dan Konfigurasi Alur Sekat Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling tower). *Jurnal ROTOR*. 10(2): 1-5;
- [14]Bahadori, A., Zahedi, G., Zendejboudi, S., Hooman, K. 2012. Simple Predictive Tool to Estimate Relative Humidity Using Wet Bulb Depression And Dry Bulb Temperature. *Applied Thermal Engineering*. 50 (2013): 511-515;
- [15]Hidayat, T.A. 2014. Analisis Beban Kalor *Cooling tower* Induced Draft Counterflow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung. Jember. *Jurnal Jurusan Teknik Mesin*, Fakultas Teknik, Universitas Jember;
- [16] Perry. 1997. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. 7 ed. Graw Hill Book Company, Inc. New York.
- [17]Ramkrishnan, R. dan Arumugam, R. 2013. Experimental Study of Cooling tower Performance Using Ceramic Tile Packing. India: *Department of Mechanical Engineering, Annamalai University*. 7 (1): 21-27;
- [18]Yulianto, S dan Urbiatoro A, 2013. Perancangan Cooling tower Untuk Alat Penukar Kalor Shell and Tube Kapasitas Skala Laboratorium. *Jurnal Sintek* 7(1);
- [19] Asvapoositkul, W., Treeutok, S. 2012. A Simplified Method on Thermal Performance Capacity Evaluation of Counter Flow *Cooling tower*. *Applied Thermal Engineering*. 38(2012): 160-167;
- [20]Muhsin, A., dan Pratama, Z. 2018. Analisis Efektivitas Mesin *Cooling tower* Menggunakan Range dan Approach. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*. 11(2): 119-124;
- [21] Fauzi, D. A., Rudiyanto, B., 2016. Analisa Performa Menara Pendingin Pada PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng. *Jurnal Ilmiah Rotari*. 1(1):25-32;
- [22] Sattanathan, R. 2015. Experimental Analysis on Performance of a Counter Flow Tray Type *Cooling tower*. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 4(4): 1402-1408.