

STUDI PEMBUATAN DAN UJI COBA MENARA PENDINGIN UNTUK *CHILLER* BERBASIS TEC

STUDY OF REALIZATION AND TESTING COOLING TOWER FOR TEC BASED CHILLER

Rizal Amirah Dalal Amran¹, Tri Ayodha A.², M. Saladin P.³

Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹rizalamirahdalal@gmail.com, ²tri.ayodha@gmail.com, ³prawirasasra.bibin@gmail.com

Abstrak

Menara pendingin merupakan salah satu komponen penting dalam suatu sistem pendinginan yang berfungsi sebagai alat untuk mendinginkan air keluaran kondensor yang dikontakkan langsung dengan udara lingkungan secara konveksi paksa menggunakan *fan*. Dalam tugas akhir ini dilakukan studi pembuatan dan uji coba menara pendingin untuk *Chiller* berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC) dan kinerja nya dievaluasi. Parameter yang dibutuhkan untuk mengevaluasi menara pendingin yaitu temperatur, laju aliran volume, dan kelembaban udara. Setelah semua parameter didapatkan, kinerja menara pendingin yaitu kapasitas pelepasan kalor dan efektivitas dapat dievaluasi. Penelitian ini dilakukan berbagai kondisi eksperimen, seperti mengatur tegangan termoelektrik (TEC), laju aliran volume air menara pendingin, dan tegangan kipas. Variasi stimulus tegangan TEC dan tegangan kipas yaitu sebesar 3 V, 6 V, 9 V, dan 12 V. Sedangkan variasi stimulus laju aliran volume air menara pendingin sebesar 1 LPM, 2 LPM, dan 3 LPM. Pengambilan data dilakukan pada kondisi di luar ruangan dengan keadaan teraliri udara lingkungan dan tersinari cahaya matahari. Hasil pengambilan data didapatkan untuk besar kapasitas pelepasan kalor terbesar 220.5 J/s pada tegangan TEC 12 V dengan laju aliran volume air 3 LPM dan tegangan kipas 12 V. Kapasitas pelepasan kalor terkecil sebesar 14.28 J/s pada tegangan TEC 3 V dengan laju aliran volume air 1 LPM tegangan kipas 9 V dan 12 V. Kapasitas pelepasan kalor bergantung pada kecepatan laju aliran massa air dan selisih beda temperatur input output air menara pendingin. Semakin besar nilai keduanya maka nilai kapasitas pelepasan kalornya akan semakin besar. Nilai efektivitas tertinggi yaitu 21.25% pada tegangan TEC 9 V dengan laju aliran volume air 1 LPM dan tegangan kipas 12 V. Nilai efektivitas terendah yaitu 2.71% pada tegangan TEC 12 V dengan laju aliran volume air 2 LPM dan tegangan kipas 12 V.

Kata Kunci : Menara pendingin, *Chiller* berbasis TEC , kapasitas pelepasan kalor, efektivitas

Abstract

Cooling tower is one of the important components in a cooling system that functions as a tool to cool the condenser output water which is contacted directly with environmental air by forced convection using a fan. In this final project, a study of the realization and testing of cooling towers for Thermoelectric Cooler (TEC) based chillers and their performance was evaluated. The parameters needed to evaluate cooling towers are temperature, volume flow rate, and air humidity. After all the parameters obtained, the performance of the cooling tower is the heat release capacity and effectiveness can be evaluated. In this study various experimental conditions were carried out, such as regulating thermoelectric voltage, cooling tower water flow rate, and fan voltage. TEC voltage stimulus variations and fan voltage are 3 V, 6 V, 9 V, and 12 V. While variations in the flow rate stimulus for cooling tower water volume are 1 LPM, 2 LPM, and 3 LPM. Data retrieval is carried out in conditions outside the room with a state of environmental air flowing and exposed to sunlight. The data collection results were obtained for the largest large heat discharge capacity of 220.5 J / s at 12 V TEC voltage with a flow rate of 3 LPM water volume and 12 V fan voltage. The smallest heat removal capacity of 14.28 J / s at TEC 3 V voltage with a water volume flow rate 1 LPM 9 V and 12 V fan voltage. The heat release capacity depends on the speed of the water mass flow rate and the difference of the water temperature input output of the cooling tower. The greater value of both, the greater heat release capacity. The highest value of effectiveness is 21.25% at TEC 9 V voltage with a flow rate of 1 LPM water volume and 12 V fan voltage. The lowest value of effectiveness is 2.71% at TEC 12 V voltage with a flow rate of 2 LPM water volume and 12 V fan voltage.

Keywords : *Cooling tower, TEC-based chiller, heat release capacity, effectiveness*

1. Pendahuluan

Chiller merupakan alat pemindah kalor dari satu fluida ke fluida lainnya melalui sistem kompresi uap. Pada sistem tata udara, *chiller* tidak langsung mendinginkan udara namun *chiller* mendinginkan air terlebih dahulu menggunakan refrigeran. Refrigeran yang digunakan biasanya refrigeran yang ramah lingkungan seperti hidrokarbon dan R134a.

Penggunaan refrigeran akan diubah menggunakan *thermoelectric cooler* (TEC). TEC digunakan untuk dimanfaatkan fenomena yang terjadi didalamnya yaitu beda temperatur pada tiap sisinya. Sisi dingin TEC digunakan sebagai pengganti refrigeran. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai pengaplikasian modul TEC sebagai elemen pendingin box cooler. Hasilnya modul TEC tersebut dapat mendinginkan *box cooler* tanpa beban hingga 9.13 °C dalam waktu 16 menit dari temperatur 24 °C. Dengan beban box cooler tersebut dapat didinginkan hingga 15.37 °C dalam waktu 16 menit.[1] Sisi panas TEC digunakan untuk memanaskan fluida yang akan dialirkan ke menara pendingin sehingga kerja menara pendingin dapat dianalisis.

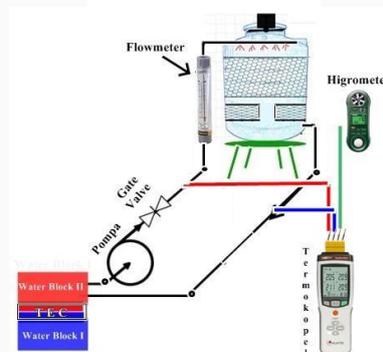
Menara pendingin merupakan alat penukar kalor yang fungsi utamanya adalah sebagai alat untuk mendinginkan air keluaran kondensator yang dikontakkan langsung dengan udara lingkungan secara konveksi paksa menggunakan fan. Konstruksi menara pendingin terdiri dari sistem pemipaan, bak penampung, fan, nozzle, dan komponen penyusun lainnya.[2]

Kinerja menara pendingin merupakan rasio kemampuan menara pendingin menurunkan temperatur air hingga temperatur wet bulb atau 1 °C di atasnya dalam bentuk persentase [2]. Kinerja menara pendingin didapat dengan cara membagi *range* dan *approach*, dengan *range* adalah selisih beda temperatur masuk dan keluar menara pendingin sedangkan *approach* adalah selisih antara temperatur air yang keluar dengan *wet bulb temperature* [3]. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai Rancang Bangun *Test Bed Cooling Tower Counter Flow*. Hasil pengujian menunjukkan efektivitas menara pendingin sebesar 40% dengan kapasitas air 6 l/min dan 46.51% dengan kapasitas air 11 LPM. dengan rata-rata efektivitas 44.42%. [3]

Pada tugas akhir ini penyusun akan membuat sistem menara pendingin sederhana untuk *chiller* berbasis *thermoelectric cooler* (TEC) dan kinerjanya dievaluasi. *Chiller* yang digunakan menggunakan sistem TEC dengan sisi panasnya sebagai pemanas fluida yang akan didinginkan oleh menara pendingin.

2. Metode Penelitian

2.1 Perancangan Alat



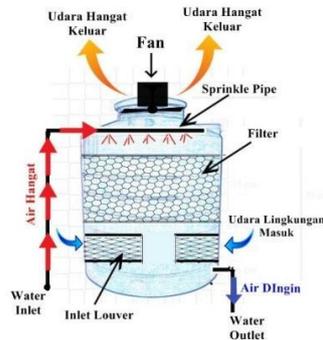
Gambar 2.1 Skema eksperimen menara pendingin untuk *chiller* berbasis TEC

Dalam pembuatannya, menara pendingin haruslah melewati suatu perancangan agar dapat bekerja sesuai dengan kebutuhannya. Maka menara pendingin harus dirancang dengan beberapa bagian yang saling terkait antara bagian satu dengan bagian yang lain. Perancangan kerangka penyusun menara pendingin untuk sistem *chiller* berbasis TEC melibatkan dua bagian sistem yaitu sistem mekanik dan sistem elektrik.

Sistem *Chiller* yang akan dibuat yaitu sistem *chiller* menggunakan TEC dengan cara menempatkan TEC di antara dua *water block*. Sisi panas TEC ditempelkan pada *water block II* yang selanjutnya air dari *water block II* dialirkan ke menara pendingin dengan bantuan pompa. Sedangkan sisi dingin TEC ditempelkan pada *water block I* yang dihubungkan dengan *load*. Temperatur air masuk menara pendingin (T_{in}) diukur menggunakan termometer dengan cara

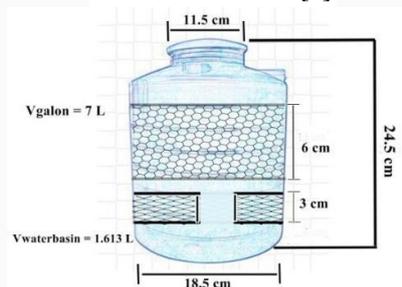
memasangnya di pipa masukan menara pendingin. Sedangkan untuk mengukur temperatur air keluar menara pendingin (T_{out}), termometer dipasang di pipa keluaran menara pendingin. Laju aliran volume air yang mengalir ke menara pendingin diukur menggunakan *flow meter* dipasang di pipa masukan menara pendingin. Untuk

mengukur kelembaban udara dan suhu udara kering, higrometer ditempatkan di lingkungan dekat menara pendingin. Lebih jelasnya ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.2 Skema menara pendingin

Sistem mekanik pada menara pendingin mempunyai beberapa bagian yang mempunyai fungsinya masing-masing. Pertama *water inlet* yang merupakan tempat masuk air yang berasal dari kondensator. Air yang mengalir dari *water inlet* mengalir melalui pipa menuju *sprinkle pipe* yaitu pipa untuk pemercik air. Setelah melalui pipa pemercik air barulah air keluar melalui *Eliminator/Nozzle* sebagai pemercik air. Menara pendingin menurunkan temperatur air dengan cara melepas kalornya ke udara lingkungan. Tempat masuknya udara lingkungan tersebut bernama *Inlet Louver* dan pelepasan kalor ke lingkungan kemudian dibantu oleh *fan*. Agar pendinginan maksimal, di dalam menara pendingin ditambahkan *filter* yang merupakan plat-plat untuk mengurangi debit air yang jatuh untuk memaksimalkan pendinginan. *Filter* tersebut diberi *filter supportor* untuk menyangga filter agar tidak jatuh. Barulah air hasil pelepasan kalor tersebut ditampung di *water basin* untuk selanjutnya dialirkan kembali ke kondensator melalui *water outlet*. [4]



Gambar 2.3 Dimensi menara pendingin

Menara pendingin yang dirancang mempunyai dimensi tinggi 24.5 cm, dengan diameter alas 18.5 cm, dan diameter atas 11.5 cm. Untuk bak penampungnya dibuat dengan tinggi 6 cm sehingga volume maksimal yang dapat ditampung oleh bak penampung sebesar 1.61 liter. Untuk tinggi *inlet louver* dibuat dengan ketinggian 3 cm dan untuk *filter* dibuat dengan ketinggian 6 cm. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.3.

Sistem elektrik untuk *fan* adalah sistem yang berfungsi sebagai alat dalam sistem perpindahan panas di menara pendingin. Udara yang masuk dari *inlet louver* dihisap oleh *fan* untuk membantu proses pendinginan yang terjadi pada saat air dijatuhkan ke *filter*. Selanjutnya udara panas dialirkan ke lingkungan oleh *fan*. Sistem elektrik untuk pompa adalah sistem yang berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air keluaran kondensator dan air keluaran dari *load*. Air keluaran kondensator dipompa ke menara pendingin untuk didinginkan sedangkan air keluaran *load* dipompa ke kondensator. Sistem elektrik untuk TEC adalah sistem yang berfungsi sebagai pemada temperatur antara dua buah *waterblock* yang berisi air. Dengan sisi panas untuk memanaskan air pada *water block II* sedangkan sisi dingin untuk mendinginkan air pada *water block I*.

2.2 Parameter dan Pengukuran

Untuk dapat menganalisa menara pendingin, dibutuhkan beberapa parameter yang harus dicari maupun diukur. Parameter-parameter tersebut didapatkan dengan cara mengukur langsung menggunakan alat ukurnya dan beberapa parameter lainnya dicari melalui referensi yang didapatkan baik itu dari media digital maupun dari buku. Parameter yang didapat menggunakan alat ukur yaitu parameter temperatur air keluar masuk menara pendingin

dan temperatur udara lingkungan menara pendingin menggunakan termokopel *probe K*. Selanjutnya parameter kelembaban relatif udara lingkungan menara pendingin diukur menggunakan higrometer pada 4 in 1 meter. Parameter laju aliran air diukur menggunakan *liquid flowmeter*. Selanjutnya parameter *wet bulb* yaitu temperatur yang diukur menggunakan termometer yang bulb nya (bagian bawah) ditutupi kain basah lalu dialiri udara yang diinginkan [4]. Temperatur *wet bulb* digunakan untuk mencari *approach* yang selanjutnya digunakan untuk mencari kinerja menara pendingin. Agar lebih akurat, temperatur *wet bulb* ditentukan menggunakan metoda psikrometrik dengan cara mengetahui terlebih dahulu temperatur udara dan kelembaban relatif udara sekitar. Setelah dua parameter tersebut ditemukan barulah temperatur *wet bulb* dapat diketahui menggunakan karta psikrometrik. Pada karta psikrometrik temperatur *wet bulb* ditunjukkan dengan garis horizontal, maka untuk mengetahuinya adalah pada titik potong antara temperatur udara kering dengan kelembaban relatif. Parameter yang didapatkan dari referensi yaitu kalor spesifik air (c_p air), dan massa jenis air (ρ air). Setelah parameter-parameter tersebut didapatkan, selanjutnya parameter tersebut digunakan untuk menganalisa menara pendingin.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Eksperimen

Proses eksperimen pada Tugas Akhir ini dilakukan pada kondisi di luar ruangan (*outdoor*) untuk mengetahui kapasitas pelepasan kalor dan efektivitas pada dua keadaan tersebut. Pada tiap-tiap eksperimen dilakukan variasi stimulus yaitu: merubah laju alir air, merubah tegangan *fan*, dan merubah tegangan TEC. Laju alir air divariasikan dari 1 LPM, 2 LPM, sampai 3 LPM. Tegangan fan divariasikan dari 3 V, 6 V, 9 V, sampai 12 V. Tegangan TEC divariasikan dari 3 V, 6 V, 9 V, dan 12 V. Data dapat diambil ketika temperatur TEC dalam keadaan stabil tidak berubah saat diberikan tegangan yang bervariasi tersebut

3.2 Pengambilan Data

Eksperimen dan pengambilan data dilaksanakan di tepi belakang Selasar Gedung P dengan keadaan dapat tersinari cahaya matahari dan teraliri udara lingkungan Gedung P. Dalam pengambilan data ini memerlukan beberapa tahap yaitu : tahap kalibrasi alat ukur, pengambilan data, analisis data.

Prosedur pengambilan data diawali dengan kalibrasi alat ukur terlebih dahulu. Selanjutnya atur tegangan TEC sesuai stimulus yang akan diberikan yaitu : 3 V, 6 V, 9 V, dan 12 V. Selanjutnya nyalakan pompa lalu atur bukaan *valve* untuk mengatur kecepatan laju aliran volume air nya. Besar laju aliran volume air dapat dilihat pada *flowmeter*. Selanjutnya atur tegangan *fan* sesuai stimulus tegangan yang akan diberikan yaitu : 3 V, 6 V, 9 V, 12 V. Ambil data yang sudah terukur melalui alat ukur lalu jika sudah benar maka lanjut untuk dilakukan analisis data. Kembali ke awal pengambilan data untuk memberikan stimulus lain pada TEC, laju aliran volume air, dan *fan*. Setelah seluruh data dianalisis maka eksperimen dapat diselesaikan.

3.2.1 Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi alat ukur yang dimaksud merupakan kalibrasi alat ukur temperatur yaitu termokopel khususnya pada *probe K* sebagai sensor pembaca temperatur. Untuk mengkalibrasi termokopel dibutuhkan satu alat kalibrator sebagai temperatur referensi. Kalibrasi dilakukan untuk keakuratan dalam pengukuran termokopel dan menentukan *error* nya. Besar *error* dalam bentuk persentase dapat diketahui dengan persamaan :

$$error = \left| \frac{T_r - T_m}{T_r} \right| \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dengan T_r adalah temperatur referensi atau temperatur yang terukur kalibrator dan T_m adalah temperatur yang terukur pada termokopel. Dari hasil kalibrasi *probe K* temperatur input air menara pendingin didapatkan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0.56 dengan *error* rata-rata 1.55 % . Untuk hasil kalibrasi *probe K* temperatur output air menara pendingin didapatkan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0.25 dengan *error* rata-rata 0.725 % . Untuk hasil kalibrasi *probe K* temperatur udara didapatkan selisih pengukuran rata-rata sebesar 0.55 dengan *error* rata-rata 2.08 % .

3.2.2 Kapasitas Pelepasan Kalor

Kapasitas pendinginan adalah ukuran kemampuan sistem pendingin untuk melepaskan kalor. Satuan internasional untuk kapasitas pelepasan kalor adalah watt (W) atau Joule per detik (J/s). Kapasitas pelepasan kalor dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

Dengan Q adalah pelepasan kalor (J/s), m adalah laju massa (kg/s), c_p adalah kapasitas panas spesifik (J/kg.K), dan ΔT adalah selisih beda temperatur (K).

3.2.3 Kinerja Menara Pendingin (Efektivitas)

Kinerja menara pendingin merupakan rasio kemampuan menara pendingin menurunkan temperatur air hingga temperatur wet bulb atau 1°C di atasnya dalam bentuk persentase. Kinerja menara pendingin dinyatakan dalam *range* dan *approach*. *Range*. *Range* dinyatakan dengan persamaan:

$$Range = T_{in} - T_{out} \quad (3.3)$$

Dengan T_{in} merupakan temperatur air masuk (°C) dan T_{out} merupakan temperatur air keluar (°C)

Approach dinyatakan dengan persamaan :

$$Approach = T_{out} - T_{WB} \quad (3.4)$$

Dengan T_{out} merupakan temperatur air keluar (°C) dan T_{WB} merupakan temperatur *wet bulb* (°C)

Setelah *range* dan *approach* diketahui, kinerja menara pendingin dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Efektivitas (\%) = \frac{Range}{Approach} \times 100 \quad (3.5)$$

3.3 Analisis Data Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas

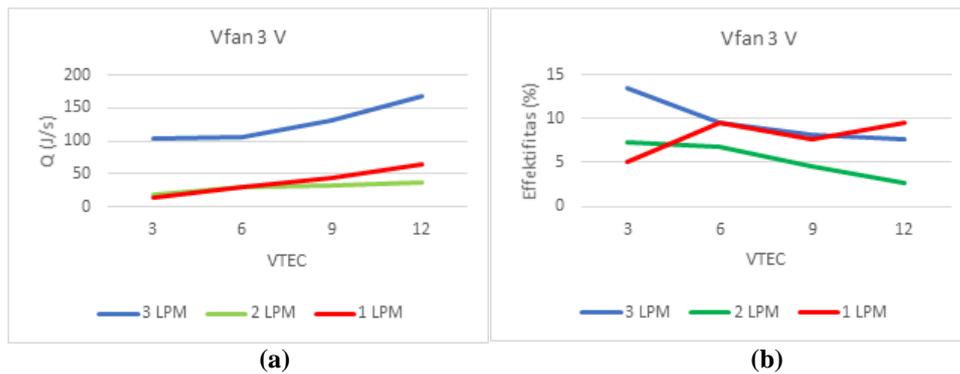
3.3.1 Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfan 3V

Tabel 3.1 Data Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfan 3 V

VTEC (V)	Range 1 LPM (°C)	Range 2 LPM (°C)	Range 3 LPM (°C)	App 1 LPM (°C)	App 2 LPM (°C)	App 3 LPM (°C)	RH 1 LPM (%)	RH 2 LPM (%)	RH 3 LPM (%)	Q 1 LPM (J/s)	Q 2 LPM (J/s)	Q 3 LPM (J/s)	Eff 1 LPM (%)	Eff 2 LPM (%)	Eff 3 LPM (%)
3	0.21	0.14	0.49	4.08	1.89	3.65	54.97	70.04	65.46	15	19.4	102.9	5.14	7.38	13.41
6	0.42	0.21	0.5	4.4	3.09	5.28	51.26	69.17	58.6	29.98	29.91	105	9.53	6.78	9.475
9	0.6	0.23	0.63	7.78	5.14	7.68	47.03	68.98	62.21	42.84	31.89	132.3	7.71	4.47	8.206
12	0.89	0.27	0.8	9.34	9.95	10.45	50.24	63.85	59.5	63.55	37.42	168	9.52	2.71	7.65

Kapasitas pelepasan kalor akan meningkat jika VTEC dinaikan sehingga sisi panas TEC pun akan semakin panas. Percobaan dengan laju aliran volume air yang lebih besar sejatinya akan membuat kapasitas pelepasan kalor lebih besar. Hal itu disebabkan banyaknya muatan air yang mengalir sehingga memperbesar juga kapasitas pelepasan kalornya. Namun tetap bergantung pula dengan perbandingan temperatur input dan output air dari menara pendingin. Faktor yang menyebabkan beda temperatur input dan output air menara pendingin besar yaitu faktor lingkungan sekitar menara pendingin. Pada penelitian ini membuktikan jika kelembaban relatif lingkungan menara pendingin kecil maka beda temperatur input output air akan besar dan sebaliknya. Kapasitas pelepasan kalor pada laju aliran volume air 1 LPM lebih besar dibandingkan kapasitas pelepasan kalor pada laju aliran volume air 2 LPM saat VTEC 6 V-12 V. Hal ini disebabkan karena pada percobaan 1 LPM kelembaban relatif lingkungan bernilai lebih kecil dibanding saat percobaan laju aliran volume 2 LPM sehingga nilai *range* pada percobaan 1 LPM lebih besar dibandingkan dengan nilai *range* pada percobaan 2 LPM.

Efektivitas menara pendingin saat *fan* diberi tegangan sebesar 3 V dengan laju aliran volume 3 LPM dan 2 LPM cenderung menunjukkan penurunan. Sebaliknya efektivitas pada laju aliran volume air 1 LPM menunjukkan adanya kenaikan pada VTEC 6 V dan penurunan pada VTEC 9 V. Hal ini disebabkan oleh besar nilai *range* saat VTEC 6 V dan 9 V untuk aliran 1 LPM menunjukkan nilai yang lebih besar dibanding 2 LPM. Fenomena tersebut berhubungan dengan kemampuan menara pendingin menurunkan temperatur. Selanjutnya pada saat VTEC 12 V, efektivitas laju aliran volume 1 LPM lebih tinggi dibandingkan dengan 2 LPM dan 3 LPM. Hal ini disebabkan oleh nilai *range* laju aliran 1 LPM lebih besar dibandingkan dengan laju aliran volume 2 LPM dan 3 LPM dan nilai *approach* yang lebih kecil dibandingkan dengan laju aliran 2 LPM dan 3 LPM. Nilai *approach* yang lebih kecil diakibatkan oleh selisih antara temperatur air output menara pendingin dengan temperatur bola basah. Pada laju aliran volume air 1 LPM menunjukkan temperatur air output menara pendingin yang paling kecil sehingga berpengaruh dengan kecilnya nilai *approach*. Lebih jelasnya ditunjukkan oleh grafik pada gambar 3.1 (a) dan (b).



Gambar 3.1 (a) Grafik Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor saat Vfán 3 V (b) Grafik Perbandingan Efektivitas menara pendingin saat Vfán 3 V

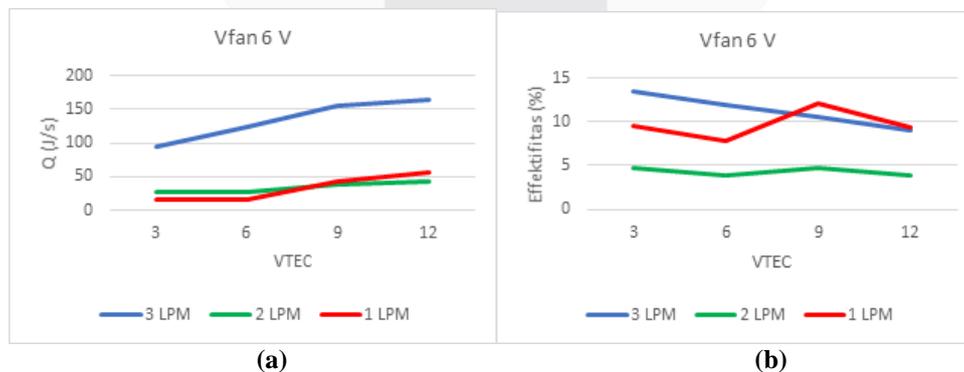
3.3.2 Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfán 6 V

Tabel 3.2 Data Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfán 6 V

VTEC (V)	Range 1 LPM (°C)	Range 2 LPM (°C)	Range 3 LPM (°C)	App 1 LPM (°C)	App 2 LPM (°C)	App 3 LPM (°C)	RH 1 LPM (%)	RH 2 LPM (%)	RH 3 LPM (%)	Q 1 LPM (J/s)	Q 2 LPM (J/s)	Q 3 LPM (J/s)	Eff 1 LPM (%)	Eff 2 LPM (%)	Eff 3 LPM (%)
3	0.21	0.2	0.45	2.21	4.27	3.33	67.51	67.96	68.35	15	27.72	94.5	9.48	4.68	13.51
6	0.21	0.2	0.59	2.7	5.11	4.93	60.33	66.05	61.47	15	27.72	123.9	7.78	3.91	11.98
9	0.61	0.27	0.74	5.025	5.7	6.97	59.59	68.58	61.07	43.55	37.42	155.4	12.14	4.745	10.61
12	0.8	0.31	0.78	8.51	7.965	8.61	62.62	69.36	61.55	57.12	42.97	163.8	9.4	3.89	9.06

Percobaan menunjukkan kapasitas pelepasan kalor pada laju aliran volume air 1 LPM lebih besar dibandingkan kapasitas pelepasan kalor pada laju aliran volume air 2 LPM pada saat VTEC 9 V-12 V. Hal ini disebabkan oleh kelembaban relatif lingkungan pada percobaan laju aliran volume 1 LPM yang lebih kecil dibanding saat percobaan laju aliran volume 2 LPM sehingga nilai *range* pada percobaan 1 LPM lebih besar dibandingkan dengan nilai *range* pada percobaan 2 LPM.

Efektivitas pada data 3 LPM mengalami penurunan yang sebanding dengan penambahan tegangan pada TEC. Namun efektivitas laju aliran volume air 1 LPM lebih tinggi dibandingkan efektivitas laju aliran volume air 2 LPM dan 3 LPM pada saat tegangan TEC 9 V yaitu 12.14%. Hal ini dikarenakan nilai *range* yang besar dan nilai *approach* yang kecil pada data 1 LPM saat tegangan TEC 9 V. Nilai *approach* yang kecil pada saat menara pendingin dengan tegangan *fan* 6 V dan tegangan TEC 9 V adalah akibat dari selisih temperatur output air dengan temperatur bola basah yang kecil. Pada data laju aliran 1 LPM menunjukkan temperatur bola basah yang lebih kecil dibandingkan dengan data laju aliran 3 LPM namun temperatur output air mendekati dengan temperatur bola basah sehingga diperoleh nilai *approach* yang lebih kecil. Lebih jelasnya ditunjukkan oleh grafik pada gambar 3.2 (a) dan (b).



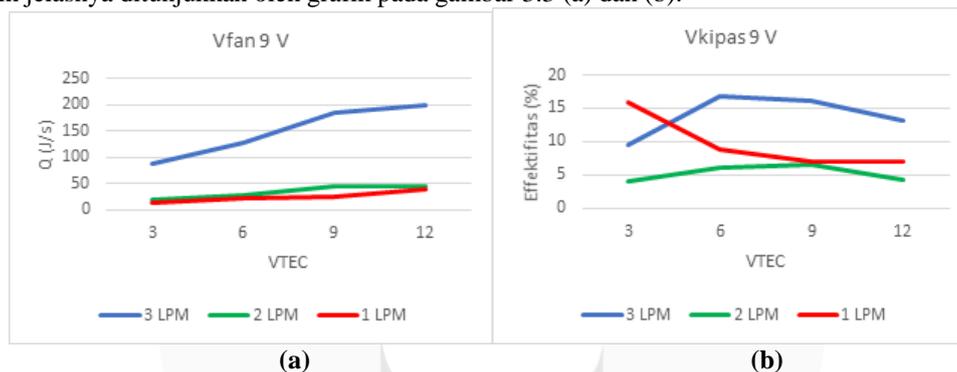
Gambar 3.2 (a) Grafik Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor saat Vfán 6 V (b) Grafik Perbandingan Efektivitas menara pendingin saat Vfán 6 V

3.3.3 Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfán 9 V

Tabel 3.3 Data Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfán 9 V

VTEC (V)	Range 1 LPM (°C)	Range 2 LPM (°C)	Range 3 LPM (°C)	App 1 LPM (°C)	App 2 LPM (°C)	App 3 LPM (°C)	RH 1 LPM (%)	RH 2 LPM (%)	RH 3 LPM (%)	Q 1 LPM (J/s)	Q 2 LPM (J/s)	Q 3 LPM (J/s)	Eff 1 LPM (%)	Eff 2 LPM (%)	Eff 3 LPM (%)
3	0.2	0.13	0.42	1.25	3.21	4.46	66.73	71.14	61.06	14.28	18.02	88.2	16.01	4.05	9.42
6	0.3	0.2	0.61	3.44	3.34	3.63	67.21	73.12	63.43	21.42	27.72	128.1	8.72	5.995	16.81
9	0.35	0.32	0.88	5.02	4.95	5.46	68.98	72.73	59.75	24.99	44.35	184.8	6.97	6.46	16.12
12	0.56	0.33	0.95	7.9	7.69	7.28	70.15	72.36	63.29	39.98	45.74	199.5	7.01	4.29	13.05

Kapasitas pelepasan kalor saat *fan* diberi tegangan 9 V baik data laju aliran volume air 3 LPM, 2 LPM, dan 1 LPM mengalami kenaikan. Hal ini sebanding dengan nilai kapasitas kalor yang akan semakin besar jika beban panas ditambahkan dan pengaruh dari besar masing-masing laju aliran volume air nya serta beda temperatur input output menara pendingin. Efektivitas menara pendingin pada saat *fan* diberi tegangan 9 V untuk laju aliran volume air 1 LPM mengalami penurunan sebanding dengan meningkatnya tegangan TEC. Penurunan efektivitas terjadi karena besar nilai *range* dan *approach* yang terpaut cukup besar sehingga membuat nilai efektivitas turun. Fenomena yang terjadi pada saat diberi tegangan TEC 6 V, untuk laju aliran 3 LPM menunjukkan kenaikan nilai efektivitas. Hal ini disebabkan pada saat diberi tegangan TEC 6 V temperatur lingkungan 28.95°C dengan RH 63.43% yang mengakibatkan pada besarnya nilai temperatur bola basah. Temperatur bola basah yang besar membuat nilai *approach* semakin kecil diimbangi dengan temperatur output air menara pendingin yang mendekati temperatur bola basah. Efektivitas laju aliran volume air 1 LPM mengalami kenaikan 0.043% pada saat VTEC 12 V menjadi 7.01% dibandingkan pada saat tegangan TEC 9 V yaitu sebesar 6.97%. Hal ini dikarenakan RH lingkungan mengalami kenaikan pada saat tegangan TEC 12 V yang berpengaruh pada besar nilai temperatur bola basah. Lebih jelasnya ditunjukkan oleh grafik pada gambar 3.3 (a) dan (b).



Gambar 3.3 (a) Grafik Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor saat Vfan 9 V (b) Grafik Perbandingan Efektivitas menara pendingin saat Vfan 9 V

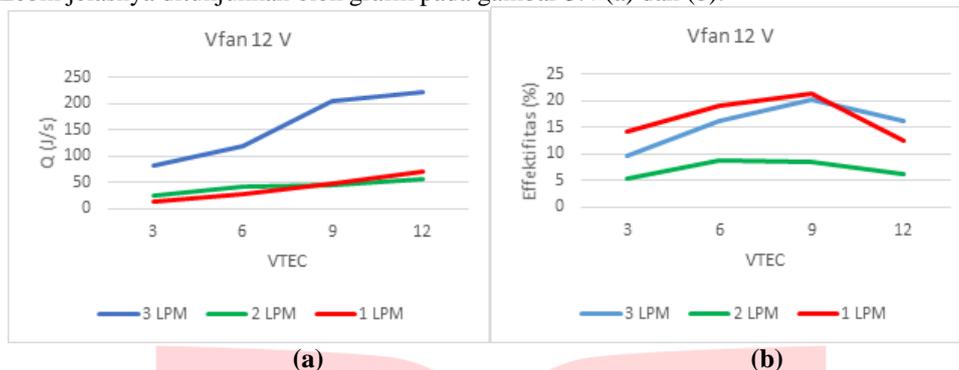
3.3.4 Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfan 12 V

Tabel 3.4 Data Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor dan Efektivitas pada Vfan 12 V

VTEC (V)	Range 1 LPM (°C)	Range 2 LPM (°C)	Range 3 LPM (°C)	App 1 LPM (°C)	App 2 LPM (°C)	App 3 LPM (°C)	RH 1 LPM (%)	RH 2 LPM (%)	RH 3 LPM (%)	Q 1 LPM (J/s)	Q 2 LPM (J/s)	Q 3 LPM (J/s)	Eff 1 LPM (%)	Eff 2 LPM (%)	Eff 3 LPM (%)
3	0.2	0.18	0.39	1.42	3.385	4.08	64.56	69.36	61.94	14.28	24.95	81.9	14.08	5.32	9.55
6	0.39	0.29	0.57	2.06	3.29	3.55	62.19	69.26	64.07	27.85	40.19	119.7	18.89	8.8	16.04
9	0.68	0.32	0.98	3.2	3.85	4.89	60.46	68.09	58.35	48.55	44.35	205.8	21.25	8.3	20.04
12	0.99	0.4	1.05	7.98	6.38	6.54	59.07	65.24	63.44	70.69	55.44	220.5	12.41	6.265	16.06

Kapasitas pelepasan kalor pada saat tegangan *fan* 12 V mengalami kenaikan sesuai dengan peningkatan tegangan pada TEC. Namun pada data laju aliran 1 LPM dengan tegangan TEC 9 V dan 12 V menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan data laju aliran 2 LPM dengan nilai 48.552 J/s dan 70.686 J/s. Hal itu disebabkan faktor kelembaban relatif lingkungan laju aliran 1 LPM yang lebih kecil dibanding laju aliran volume 2 LPM sehingga nilai *range* laju aliran 1 LPM pada tegangan TEC 9 V dan 12 V lebih besar dibanding pada data laju aliran 2 LPM. Efektivitas masing-masing laju aliran volume aliran air mengalami kenaikan dan penurunan yang

disebabkan oleh nilai *range* dan *approach* nya. Pada data laju aliran 1 LPM menunjukkan nilai efektivitas yang tinggi pada saat diberi tegangan TEC 3 V. Hal ini dikarenakan temperatur lingkungan tinggi disertai dengan nilai RH yang besar sehingga mengakibatkan tingginya temperatur bola basah yang akan mempengaruhi pada nilai *approach*. Lebih jelasnya ditunjukkan oleh grafik pada gambar 3.4 (a) dan (b).



Gambar 3.4 (a) Grafik Perbandingan Kapasitas Pelepasan Kalor saat Vfan 12 V **(b)** Grafik Perbandingan Efektivitas menara pendingin saat Vfan 12 V

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian terhadap menara pendingin dengan berbagai stimulus eksperimen dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kapasitas pelepasan kalor bergantung pada kecepatan laju aliran massa dan *range*. Semakin besar nilai keduanya maka semakin besar pula nilai kapasitas pelepasan kalor.
2. Pada penelitian ini beda temperatur dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan yaitu faktor kelembaban relatif lingkungan sekitar menara pendingin. Semakin kecil nilai kelembaban relatifnya maka beda temperatur akan semakin besar begitu sebaliknya.
3. *Approach* merupakan perbandingan antara temperatur output air dengan temperatur bola basah, sehingga akan semakin baik bila temperatur output air mendekati temperatur bola basahnya.
4. Pengaruh temperatur lingkungan dan kelembaban relatif terhadap efektivitas menara pendingin cukup besar. Semakin besar kelembaban relatif terhadap temperatur lingkungan maka nilai temperatur bola basah akan semakin besar. Sehingga berpengaruh pada nilai *approach* yang besar
5. Efektivitas menara pendingin sangat bergantung pada besarnya nilai *range* dan *approach*. Semakin besar nilai *range* dan semakin kecil nilai *approach* maka nilai efektivitasnya akan semakin tinggi.

4.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan dengan durasi lebih lama dengan variasi stimulus yang lebih beragam agar pengaruh pendinginan menggunakan menara pendingin lebih terlihat.
2. Perlunya pemasangan kontrol digital untuk mengatur laju aliran volume alir dan *make up water* agar tidak dilakukan secara manual
3. Perlunya pemasangan instrumen digital untuk pengambilan dan pengolahan data supaya pengambilan data dapat dilakukan secara otomatis.
4. Penelitian lebih lanjut mengenai parameter dan persamaan-persamaan lain pada menara pendingin agar tercipta menara pendingin yang lebih baik kinerjanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mainil, Aziz dan Kurniawan, 2015, Penggunaan Modul *Thermoelectric* sebagai Elemen Pendingin *Box Cooler*, Bandung
- [2] Pratiwi, Nugroho dan Hamidah, 2014, Analisa Kinerja Cooling Tower Induced Draft Fan tipe LBC W-300 Terhadap Pengaruh Temperatur Lingkungan
- [3] Taufik, Listyadi dan Sutjahjono, 2014, Analisis Beban Kalor Cooling Tower Induced Draft Counterflow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung, Jember
- [4] LKP Kistamaji, Itam., 1996, Perencanaan dan Perhitungan Menara Pendingin pada Reaktor TRIGA MARK II untuk daya 2 MW, Bandung