

TUGAS AKHIR

ANALISA EKSPERIMEN KINERJA *HYBRID WET COOLING* *TOWER*

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MHD RIVAL RIVANSYAH
2007230070



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

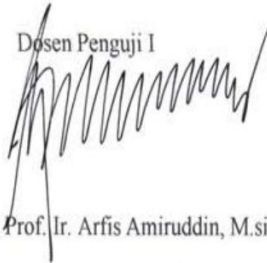
Nama : MHD RIVAL RIVANSYAH
Npm : 2007230070
Program Study : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Analisa Eksperimen Kinerja *Hybrid Wet Cooling Tower*
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 06 September 2024

Mengetahui dan Menyetujui :

Dosen Penguji I



Assoc. Prof. Ir. Arfis Amiruddin, M.si

Dosen Penguji II



Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Mhd Rival Rivansyah
Tempat /Tanggal Lahir : Rampah Kiri, 12 Desember 2002
NPM : 2007230070
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“ANALISA EKSPERIMEN KINERJA *HYBRID WET COOLING TOWER*”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik. Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 10 September 2024

Saya yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink is written over a yellow and red 10,000 Rupiah stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and '11BB2AJX108832595'.

Mhd Rival Rivansyah

ABSTRAK

Proses produksi di dunia industri menggunakan banyak mesin skala besar. Dalam prosesnya, mesin-mesin tersebut menghasilkan panas (kalor) sebagai efek samping dari kerja mesin, sehingga membutuhkan sistem pendinginan untuk kelangsungan kerjanya. Secara umum air banyak digunakan sebagai media penukar kalor dari berbagai kondensor pesawat pendingin ataupun alat-alat penukar kalor dari proses industri. Air tersebut akan melewati di setiap bagian-bagian mesin dan akan keluar dalam kondisi panas. Apabila air panas tersebut dibuang secara langsung ke lingkungan maka dapat menyebabkan gangguan terhadap ekologi air. Solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan sistem pendinginan. Menara pendingin (*cooling tower*) dapat digunakan dalam proses pendinginan air di dunia industri. Tujuan penelitian adalah Untuk menganalisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower*. Metode penelitian yaitu menganalisa dan mengevaluasi hasil rancangan berdasarkan efisiensi keluaran. Hasil dari analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower* pada (L/G) terhadap *Range*, *Approach*, Efektivitas, Q , Me , dan Mev didapat grafik yang tertinggi ditunjukkan pada nilai Q 92,90°C. dan grafik terendah di tunjukan pada Mev 0,0002 °C. Dari grafik suhu air masuk di atas rata suhu 50°C. Lebih tinggi dari pada suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C, Sedangkan suhu air masuk terendah di tunjukan pada suhu 35°C.

Kata kunci : *cooling tower*, *hybrid*, *range*, suhu

ABSTRACT

The production process in the industrial world uses many large-scale machines. In the process, these machines produce heat (heat) as a side effect of the work of the machine, so it requires a cooling system for its continuity. In general, water is widely used as a heat exchange medium from various cooling aircraft condensers or heat exchangers from industrial processes. The water will pass through each part of the machine and will come out in hot conditions. If the hot water is discharged directly into the environment, it can cause disturbances to the water ecology. The solution to overcome this is to use a cooling system. Cooling towers can be used in the water cooling process in the industrial world. The research objective is to analyze the experimental performance of hybrid wet cooling tower. The research method is to analyze and evaluate the design results based on output efficiency. The results of the experimental analysis of the performance of the hybrid wet cooling tower at (L/G) against Range, Approach, Effectiveness, Q , Me , and Mev obtained the highest graph shown at the Q value of 92,90 °C. and the lowest graph is shown at Mev 0.0002 °C. From the graph the inlet water temperature is above the average temperature of 50 °C. Higher than the inlet water temperature of 47 °C, 44 °C, 41 °C, 38 °C, while the lowest inlet water temperature is shown at 35 °C.

Keywords : *cooling tower, hybrid, range, temperature*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISA EKSPERIMEN KINERJA *HYBRID WET COOLING TOWER*”** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
6. Orang tua penulis yang telah bersusah payah membesarkan, menyemangati dan membiayai studi penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Teman-teman mahasiswa Teknik Mesin yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang namanya tidak bisa penulis sebut satu persatu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 10 September 2024

Mhd Rival Rivansyah

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN

Error! Bookmark not defined.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Error! Bookmark not defined.

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR TABEL	xii

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	3
1.4.1 Tujuan Umum	3
1.4.2 Tujuan Khusus	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Cooling Tower</i>	5
2.2 Fungsi <i>Cooling Tower</i>	5
2.3 Fungsi Kerja <i>Cooling Tower</i>	6
2.4 Definisi <i>Cooling Tower</i>	6
2.5 Jenis-jenis <i>Cooling Tower</i>	6
2.5.1 <i>Cooling Tower Crossflow</i>	7
2.5.2 <i>Cooling Tower Mechanical Draft Counterflow</i>	8
2.6 <i>Cooling Tower Hybrid</i>	9
2.6.1 Pengaruh terhadap <i>Range</i>	10
2.6.2 Pengaruh Terhadap Efektifitas	10
2.6.3 Pengaruh Terhadap Penguapan (MEV)	11

2.6.4	Pengaruh Terhadap <i>Approach</i>	11
2.6.5	Klasifikasi <i>Cooling Tower</i>	11
BAB 3	METODE PENELITIAN	15
3.1	Tempat dan Waktu	15
3.1.1	Tempat Penelitian	15
3.1.2	Waktu dan Tahapan Penelitian	15
3.2	Alat dan Bahan	16
3.3	Bagan Alir Penelitian	19
3.4	Peralatan Penelitian	20
3.5	Prosedur Penelitian	20
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1	Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Kinerja <i>Cooling Tower</i>	21
4.2	Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap <i>Cooling Tower</i>	25
4.3	Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap <i>Cooling Tower</i>	29
4.4	Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap <i>Cooling Tower</i>	33
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	38
5.1	Kesimpulan	38
5.2	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA		39
LAMPIRAN		41
LEMBAR ASISTENSI		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Cooling Tower Crossflow dan Counterflow</i>	6
Gambar 2.2 <i>Cooling Tower Crossflow</i>	7
Gambar 2.3 <i>Structure of a typical hybrid solar-chimney-cooling-tower system</i>	8
Gambar 2.4 Klasifikasi <i>Cooling Tower</i> (Suhardi Putra, 2015)	11
Gambar 2.5 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i> (Suhardi Putra, 2015)	12
Gambar 3.1 <i>Cooling Tower</i>	15
Gambar 3.2 <i>Thermo Hygrometer</i>	15
Gambar 3.3 Thermo Air Raksa	15
Gambar 3.4 Komputer	16
Gambar 3.5 Sensor DHT11	16
Gambar 3.6 Sensor DS18B20	16
Gambar 3.7 <i>Flow Meter</i>	17
Gambar 3.8 <i>Thermostat</i> STC 1000	17
Gambar 3.9 <i>Hybrid</i>	17
Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian	18
Gambar 4.1 Pengaruh L/G terhadap <i>range</i>	20
Gambar 4.2 Pengaruh L/G terhadap <i>approach</i>	21
Gambar 4.3 Pengaruh L/G terhadap efektivitas	22
Gambar 4.4 Pengaruh L/G terhadap me	22
Gambar 4.5 Pengaruh L/G terhadap mev	23
Gambar 4.6 Pengaruh L/G terhadap Q	24
Gambar 4.7 Pengaruh L/G terhadap <i>range</i>	25
Gambar 4.8 Pengaruh L/G terhadap <i>approach</i>	25
Gambar 4.9 Pengaruh L/G terhadap efektivitas	26
Gambar 4.10 Pengaruh L/G terhadap me	27
Gambar 4.11 Pengaruh L/G terhadap mev	27
Gambar 4.12 Pengaruh L/G terhadap Q	28
Gambar 4.13 Pengaruh L/G terhadap <i>range</i>	28
Gambar 4.14 Pengaruh L/G terhadap <i>approach</i>	29

Gambar 4.15 Pengaruh L/G terhadap efektivitas	30
Gambar 4.16 Pengaruh L/G terhadap <i>me</i>	30
Gambar 4.17 Pengaruh L/G terhadap <i>mev</i>	31
Gambar 4.18 Pengaruh L/G terhadap <i>Q</i>	32
Gambar 4.19 Pengaruh L/G terhadap <i>range</i>	32
Gambar 4.20 Pengaruh L/G terhadap <i>approach</i>	33
Gambar 4.21 Pengaruh L/G terhadap efektivitas	34
Gambar 4.22 Pengaruh L/G terhadap <i>me</i>	34
Gambar 4.23 Pengaruh L/G terhadap <i>mev</i>	35
Gambar 4.24 Pengaruh L/G terhadap <i>Q</i>	36

DAFTAR NOTASI

Q	= Kalor (J)
M	= Massa benda (kg)
C	= kalor jenis (J/kg.K)
Δt	= Perubahan suhu (K)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tahap – tahap Pelaksanaan Penelitian	15
--	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menara pendingin atau *cooling tower* didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah udara dan air yang berfungsi mendinginkan air dengan mengontakannya ke udara sehingga menguapkan sebagian kecil dari air tersebut. Pada prinsipnya, perpindahan panas pada *cooling tower* terjadi di antara air dan udara sebagai pendinginnya, dimana udara dan air kontak secara langsung secara terus menerus. (Mahmud, et al., 2014)

Menara pendingin adalah perangkat pembuangan panas yang biasa ditemukan di pabrik industri dan sistem HVAC. Secara umum, ada dua jenis menara pendingin, yaitu basah dan kering, yang digunakan; masing-masing menggunakan mekanisme perpindahan panas evaporatif dan non-evaporatif. (Li & Flynn, 2021).

Menara pendingin *hybrid* adalah menara pendingin gabungan evaporatif dan kering. Para penulis mengembangkan menara pendingin *hybrid* dengan elemen kontak bergelombang miring dan radiator tipe tabung untuk mendinginkan air yang bersirkulasi di pabrik industri. Pekerjaan ini bertujuan untuk mempelajari perpindahan panas di radiator menara pendingin secara eksperimental. (Kharkov et al., 2022).

Menara pendingin adalah perangkat yang mendinginkan air panas yang masuk melalui perpindahan panas dan massa antara udara dan air, yang bersentuhan langsung satu sama lain selama proses perpindahan panas dan massa. Menara pendingin memiliki aplikasi yang besar dalam industri kimia dan petrokimia, stasiun pembangkit tenaga listrik, pabrik pendingin dan pendingin udara. (Paquin et al., 2015).

Proses produksi di dunia industri menggunakan banyak mesin skala besar. Dalam prosesnya, mesin-mesin tersebut menghasilkan panas (kalor) sebagai efek samping dari kerja mesin, sehingga membutuhkan sistem pendinginan untuk kelangsungan kerjanya. Secara umum air banyak digunakan sebagai media penukar kalor dari berbagai kondensor pesawat pendingin ataupun alat-alat

penukar kalor dari proses industri. Air tersebut akan melewati di setiap bagian-bagian mesin dan akan keluar dalam kondisi panas. Apabila air panas tersebut dibuang secara langsung ke lingkungan maka dapat menyebabkan gangguan terhadap ekologi air. Ekologi air adalah hubungan timbal balik antara air, makhluk hidup dan lingkungan sekitar air (baik hewan maupun tumbuhan). Solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan sistem pendinginan. Menara pendingin (*cooling tower*) dapat digunakan dalam proses pendinginan air di dunia industri. Peralatan ini menggunakan prinsip perpindahan panas antara air dan udara pendingin yang dihirup. Air panas dialirkan dalam butiran-butiran kecil melalui sekat-sekat pengisi. Air dialirkan dari bagian atas menara sedangkan udara dihirup dari bagian bawah.(Ardani et al., 2018).

Kelebihan panas yang dihasilkan peralatan industri seperti pada pembangkit listrik dan kilang minyak harus di buang karena dapat merusak peralatan yang digunakan. *Cooling tower* (menara pendingin) merupakan alat yang tak terpisahkan pada setiap siklus termodinamika yang berlangsung pada peralatan industri, dimana kinerja *cooling tower* akan mempengaruhi efisiensi dari keseluruhan sistem secara signifikan. *Cooling tower* berfungsi untuk mendinginkan air yang telah digunakan pada sistem pendinginan peralatan industri. Proses perpindahan panas pada *cooling tower* terjadi secara kontak langsung, dimana air yang akan didinginkan mengalami kontak langsung dengan udara yang bertindak sebagai media pendingin. Air yang telah didinginkan selanjutnya ditampung di dalam bak penampungan untuk digunakan kembali sebagai media pendingin pada sistem pendinginan peralatan industri. (Afandi, et al., 2022).

Menara pendingin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pekerjaan dan efisiensi sehingga para peneliti dan desainer bekerja tanpa lelah untuk meningkatkan kinerjanya. Sebuah desain prototipe untuk sebuah rancangan menara pendingin *hybrid* (basah/kering) telah dibuat, dengan mengandalkan geometris, dinamis, dan kesamaan termodinamika.(Kharkov et al., 2022).

Berdasarkan latar belakang ini, penulis ingin melakukan pengujian terhadap sebuah *prototype cooling tower* untuk mengetahui performa dari *cooling tower*. Pengujian yang dilakukan pada *cooling tower* berbentuk *prototype* dituangkan pada tugas akhir yang berjudul **“ANALISA EKSPERIMEN KINERJA HYBRID WET COOLING TOWER”**

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan judul tugas akhir ini maka perumusan masalah yang diperoleh dalam tugas sarjana ini diantaranya :

1. Bagaimana hasil analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower*?
2. Bagaimana efisiensi kinerja *hybrid wet cooling tower*?

1.3 Ruang Lingkup

Untuk dapat melakukan pembahasan secara lebih terarah dan sistematis serta mudah dalam pemahaman, maka penelitian ini di berikan batasan-batasan, diantaranya:

1. Penggunaan alat ukur suhu pada *wet cooling tower*.
2. Membuat instrumen pengukuran untuk *wet cooling tower*.
3. Penggunaan termokopel berbasis arduino.

1.4 Tujuan

1.4.1 Tujuan Umum

Untuk menganalisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower*.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Untuk menganalisa nilai *range* pada *cooling tower*.
2. Untuk menganalisa nilai *approach* pada *cooling tower*.
3. Untuk menganalisa nilai efektivitas pada *cooling tower*.
4. Untuk menganalisa karakteristik *cooling tower* (me).
5. Untuk menganalisa laju penguapan massa air (mev) *cooling tower*.
6. Untuk menganalisa nilai kalor yang di lepaskan air (Q) *cooling tower*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan referensi bagi penelitian selanjutnya terutama yang berkaitan dengan eksperimen kinerja *hybrid* pada *wet cooling tower*.

- b. Untuk mengembangkan ide dalam eksperimen kinerja *hybrid* pada *wet cooling tower* dengan baik dan benar, sehingga menjadi bahan pembelajaran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Agar penulisan ini dapat dilaksanakan dengan mudah dan sistematis, maka pada penulisan tugas akhir ini disusun tahapan – tahapan sebagai berikut :

1. Pada BAB 1 menyampaikan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.
2. Pada BAB 2 landasasan teori, isinya membahas teori – teori yang berhubungan dengan perencanaan ini, yang diperoleh dari berbagai referensi yang dijadikan untuk melakukan perencanaan ini.
3. Pada BAB 3 membahas tentang metode pembuatan, bahan dan peralatan.
4. Pada BAB 4 menganalisa dan mengevaluasi dari hasil rancangan berdasarkan efisiensi keluaran.
5. Pada BAB 5 berupa kesimpulan dan saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Cooling Tower*

Cooling tower (menara pendingin) merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. (Effendi & Wirza, 2013).

Menara pendingin atau *cooling tower* adalah alat bantu pendukung yang sifat pendinginannya merupakan sistem pendingin terbuka, yaitu proses pendinginan air dengan udara sebagai media pendingin. Air panas yang bersentuhan dengan udara yang ditarik oleh *fan cooling tower* menyebabkan terjadinya pertukaran panas antara air dengan udara, air yang jatuh tadi secara perlahan akan menurun temperaturnya hingga batas normal, sedangkan temperatur udara akan meningkat dan naik ke atas hingga keluar melalui bagian cerobong *cooling tower*. Sebelum air tersebut digunakan untuk pendinginan, biasanya akan di treatment terlebih dahulu pada bagian WTP (*Water Treatment Plant*) agar kandungan mineral pada air benar-benar menghilang untuk mencegah timbulnya kerusakan pada mesin akibat korosi, sehingga air tersebut dapat digunakan untuk pendinginan pada mesin tanpa khawatir terjadinya korosi. (Rahman & Mursadin, 2022)

2.2 Fungsi *Cooling Tower*

Fungsi menara pendingin atau *cooling tower* adalah memproses air panas menjadi air dingin, sehingga dapat digunakan kembali sebagai sprint pada *maen condensor* dan bisa diinjeksikan kembali. Selain itu *cooling tower* juga berfungsi untuk unit pembuangan akhir yang berupa uap atau gas ke atmosfer. *Cooling tower* memanfaatkan air dan udara pada proses perpindahan panas yang dibuang ke atmosfer. Didalam sistem menara pendingin terdapat beberapa konstruksi peralatan diantaranya adalah *fan*, *spray nozzle (Springkel)*, *fill (Packing)*, *basin* dan *pump*. (Fauzi & Rudiyanto, 2016).

2.3 Fungsi Kerja *Cooling Tower*

Prinsip kerja dari sebuah *cooling tower* adalah air panas yang keluar dari kondensor atau *Heat Exchanger* di pompa menuju puncak menara untuk disemprotkan menggunakan *nozzle*. Air panas yang disemprotkan akan jatuh mengalir mengenai *fill* (bahan pengisi) yang berfungsi untuk memecah aliran. Didalam menara air panas mengalami kontak langsung dengan udara yang bergerak secara paksa karena pengaruh dari fan. Hal ini yang disebut sebagai konveksi paksa. Air yang sudah mengalami penurunan temperatur ditampung ke dalam bak penampung. Sistem ini sangat efektif karena temperatur kondensasi yang terjadi dalam proses pendinginan sangat rendah mendekati temperatur *wet-bulb* udara. (Zohrarirani et al., n.d.).

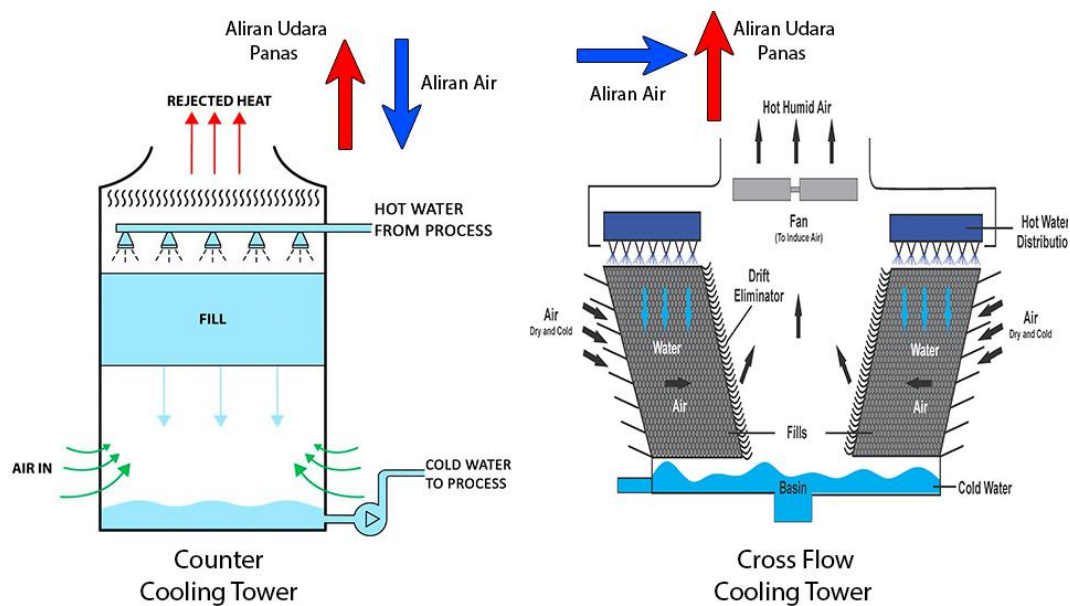
2.4 Definisi *Cooling Tower*

Definisi dari *cooling tower* sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Dalam kebanyakan *cooling tower* yang bekerja pada sistem pendinginan udara menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal ke atas melintasi menara. Semua *cooling tower* yang bekerja akan melepaskan kalor melalui kondensor, refrijeran akan melepas kalornya kepada *cooling tower* sehingga air menjadi panas. Selanjutnya air panas ini dipompakan ke *cooling tower*. *Cooling tower* atau menara pendingin secara garis besar berfungsi untuk menyerap kalor dari air tersebut dan menyediakan sejumlah air yang relatif sejuk (dingin) untuk dipergunakan kembali di suatu instalasi pendingin atau dengan kata lain menara pendingin berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. (Zulfikar, 2019).

2.5 Jenis-jenis *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk proses pendinginan mesin produksi dan proses produksi. *Cooling tower* bekerja berdasarkan sirkulasi yang mengalirkan air dingin ke mesin produksi dengan menggunakan pompa, kemudian keluaran air dari mesin produksi akan kembali

lagi ke *cooling tower* untuk didinginkan. *Cooling tower* bekerja dengan menggunakan sistem *exhaust* yang menarik uap panas air keluar dengan menggunakan sebuah kipas yang cukup besar. (Winata et al., 2013) *Cooling tower* juga memiliki plat-plat yang dibentuk seperti sarang lebah dibagian dalamnya. *Cooling tower* terbagi menjadi dua yaitu *cooling tower crossflow* dan *cooling tower counterflow* seperti pada gambar 2.1 berikut ini.

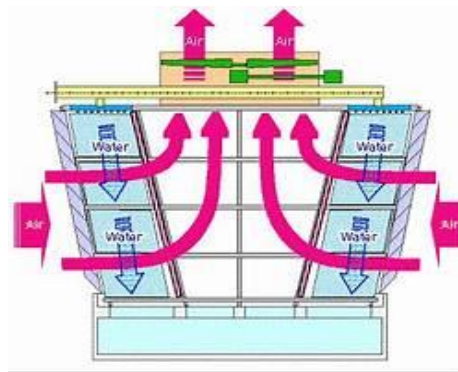


Gambar 2.1 *Cooling Tower Crossflow dan Counterflow*

2.5.1 *Cooling Tower Crossflow*

Cooling tower atau menara pendingin merupakan alat yang paling umum digunakan sebagai alat penukar panas pada industri dan mesin refrigerasi. *Cooling tower* menggunakan udara sebagai fluida pendingin dan air atau refrigeran sebagai fluida yang di dinginkan dengan metode *mixed flow* dan *cross flow*. *Cooling tower* membutuhkan *fan*/kipas untuk mengalirkan udara dan udara yang keluar dari *Cooling tower* masih memiliki kecepatan udara yang relatif tinggi. Jenis *cooling tower* yang paling umum digunakan adalah *induced draft cooling tower*. Udara sekitar ditarik ke menara pendingin dan udara panas dipaksa keluar dari outlet menara pendingin dengan bantuan kipas. Sistem pembuangan udara ini cocok untuk pembangkit listrik karena dapat menghasilkan kecepatan angin hingga 18 m /s pada jarak 0,3 m di atas *outlet cooling tower*. Udara buangan dengan kecepatan

tinggi dari *cooling tower* ini dapat dimanfaatkan sebagai penggerak dari turbin angin. Turbin angin dapat ditempatkan diatas *cooling tower* dimana kecepatan angin yang dihasilkan lebih tinggi dan konsisten jika dibandingkan dengan angin alami. (Santoso et al., 2017) *Cooling tower crossflow* seperti pada gambar 2.2 berikut ini.

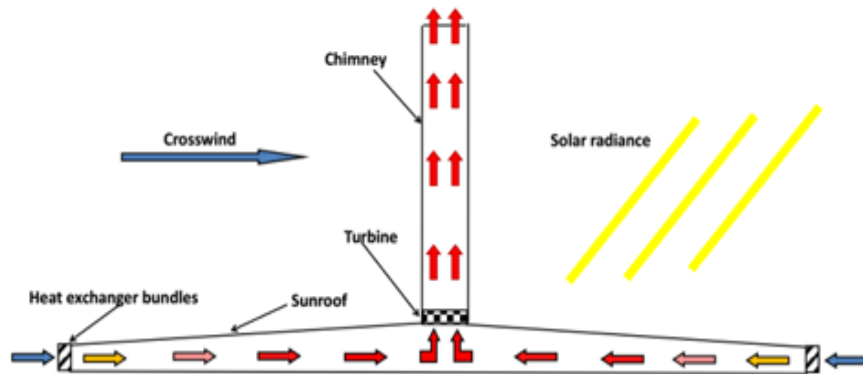


Gambar 2.2 *Cooling Tower Crossflow*

2.5.2 *Cooling Tower Mechanical Draft Counterflow*

Cooling tower mechanical draft counterflow adalah salah satu jenis dari *cooling tower* dimana air panas disemprotkan atau dipancarkan dari bagian atas ke bawah, sementara udara atmosfer ditarik ke atas oleh fan yang berlawanan dengan jatuhnya air panas tersebut. Luas permukaan air yang besar dibentuk dengan melewati air melalui kisi-kisi atau filler dan bersinggungan sehingga terjadi perpindahan panas antara air dengan udara. (Melkias, 2021)

Cooling Tower Counterflow (menara pendingin aliran balik) dapat dibagi menjadi tipe bulat dan persegi. Air pendingin suhu tinggi disemprotkan secara merata dari atas dan mengalir ke bagian bawah menara pendingin membentuk lapisan air di permukaan isian. Udara memasuki menara pendingin dari bawah, menukar panas dan massa bagian dalam isian dengan film air. Hasil dari perpindahan panas dan massa adalah nilai entalpi udara meningkat sebesar menyerap panas dan massa, air pendingin didinginkan oleh pembuangan panas. Udara panas dan lembab dibuang di luar menara pendingin dengan efek kipas aliran aksial. (Liu et al., 2017) *Cooling tower counterflow* Seperti pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 *Structure of a typical hybrid solar-chimney-cooling-tower system.*

2.6 Cooling Tower Hybrid

Sistem menara pendingin *hybrid* adalah alat penolak panas baru perangkat penolakan panas yang membuang panas limbah untuk pembangkit listrik tenaga panas yang digabungkan dan menghasilkan listrik secara bersamaan. Karena bundel penukar panas ditempatkan secara vertikal di pinggiran dari kolektor surya, sistem pendingin kering alami yang baru ini relatif rentan terhadap angin silang. Untuk meningkatkan kinerjanya di bawah kondisi angin silang, ada empat jenis desain angin berlawanan diusulkan dan dibandingkan secara numerik. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa keempat desain pemecah angin memang membantu untuk meningkatkan output daya dalam kondisi angin silang dengan intensitas tinggi, namun harus mengorbankan kinerja pembuangan panasnya. Menara pendingin basah dengan rancangan alami yang khas terutama terdiri dari penukar panas dan cangkang menara. Itu penukar panas ditempatkan secara horizontal di bagian bawah menara, atau dipasang secara vertikal di pinggiran menara. Penukar panas dimana air panas menolak limbah panas ke atmosfer menyebabkan perbedaan suhu udara antara di dalam dan di luar menara, oleh karena itu udara sekitar tersedot ke dalam menara melalui penukar panas dan mengalir keluar dari pintu keluar menara karena efek cerobong asap. Perhatikan bahwa dalam desain struktur sistem menara pendingin hibrida, penukar panas bundel ditempatkan secara vertikal di sekeliling kolektor surya, oleh karena itu umumnya lebih menderita angin silang daripada menara pendingin kering rancangan alami (NDDCT) dengan panas yang ditempatkan secara horizontal

penukar. Dengan tujuan untuk menemukan strategi melawan angin yang optimal untuk HCTSC selama kondisi berangin dan mengidentifikasi hubungan antara pemulihan kinerja pendinginan.(Zou et al., 2020)

2.6.1 Pengaruh terhadap *Range*

Range merupakan perbandingan temperatur dari temperatur air yang masuk *cooling tower* dengan temperatur air yang keluar *cooling tower* atau perbandingan antara temperatur air yang bersuhu panas dengan temperatur air yang bersuhu dingin. Lalu *approach* merupakan perbandingan antara suhu air yang keluar *cooling tower* dengan suhu lingkungan atau disebut juga *wet bulb* (bola basah).

Kinerja WCT akan dianalisis secara rinci, dan dengan demikian beberapa variabel harus diperhatikan. *Range*, seperti yang didefinisikan oleh persamaan 4.5, adalah salah satu parameter utama yang menggambarkan kinerja *wet cooling tower*. Kisaran Persamaan (1) didefinisikan sebagai perbedaan antara saluran masuk dan saluran keluar suhu air keluar (T_w).

$$Range = T_{wi} - T_{wo}$$

2.6.2 Pengaruh Terhadap Efektifitas

Efektivitas adalah selisih antara nilai *range* dengan nilai *range + approach*, dengan kata lain temperatur air masuk *cooling tower* dengan temperatur bola basah. Untuk mengetahui apakah nilai efektivitas baik atau tidak, maka dapat dilihat dari selisihnya, yaitu apabila semakin tinggi maka dapat dikatakan bahwa nilai efektivitasnya adalah baik, dan sebaliknya apabila selisihnya rendah atau hampir mendekati maka dapat dikatakan bahwa nilai efektivitasnya kurang baik.

Efektivitas menara pendingin menggambarkan sebagai rasio *range* aktual terhadap *range* ideal atau sebagai perbedaan antara *range* aktual dan *approach*. Nilai efektivitas *cooling tower* (ϵ) ditentukan dari persamaan (3) juga digunakan untuk menunjukkan efisiensi yang menentukan batas pendinginan menara.

$$e = \frac{T_{wi} - T_{wo}}{T_{wi} - T_{wb1}} \quad \text{di mana } T_{w1} \text{ dan } T_{w2} \text{ adalah suhu air masuk dan keluar. } T_{wb1}$$

menunjukkan suhu bola basah udara masuk menara.

2.6.3 Pengaruh Terhadap Penguapan (MEV)

Cooling tower merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer. menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sebagai akibatnya, air yang tersisa didinginkan secara signifikan. Perhitungan *Approach*, yaitu perbedaan antara temperatur air dingin keluar menara pendingin dan temperatur *wet bulb ambient*, dengan menggunakan rumus perhitungan adalah sebagai berikut: $Approach (^{\circ}C) = \text{temperatur air keluar } (^{\circ}C) - \text{temperatur wet bulb } (^{\circ}C)$.

Massa air yang menguap bersama udara harus diperiksa karena pendinginan evaporatif adalah fenomena perpindahan panas utama dalam menara pendingin; Laju penguapan air dapat dihitung dengan dari persamaan (4).

$$m_{eV} = m_a (\varpi_o - \varpi_i)$$

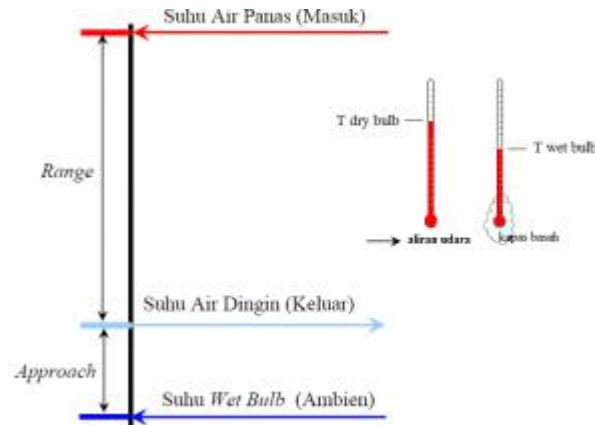
2.6.4 Pengaruh Terhadap *Approach*

Merupakan perbedaan antara temperatur air dingin keluar *cooling tower* (*Toutlet*) dan temperatur *wet bulb* lingkungan (*Twb*). Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja *cooling tower*. Perhitungan *approach* dilakukan menggunakan persamaan 2 berikut ini:

$$Approach (^{\circ}C) = Toutlet (^{\circ}C) - Twb\ ambient(^{\circ}C)$$

2.6.5 Klasifikasi *Cooling Tower*

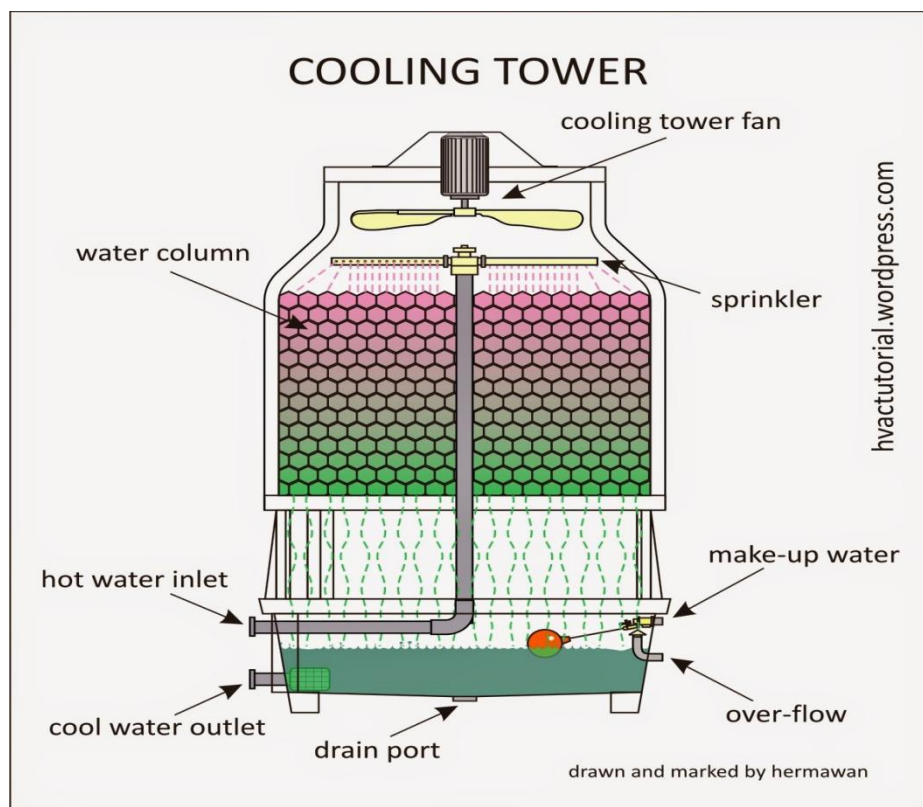
Menara pendingin didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang material fluida kerjanya adalah air, dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Pada kebanyakan menara pendingin yang dipakai pada sistem pendinginan udara menggunakan sistem pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal melintasi menara. Prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* seperti Gambar 1 *Cooling tower* juga dimanfaatkan dalam upaya peningkatan produktifitas serta efisiensi pada proses produksi mesin di industri. Karena dalam beberapa hal di industri dibutuhkan tingkat efisiensi dan temperatur yang sesuai agar dapat bekerja secara optimal. Untuk dapat menghasilkan suhu yang diinginkan, maka peralatan yang akan digunakan harus memenuhi kapasitas yang sesuai dengan beban pendinginan yang dimiliki oleh mesin yang digunakan. Seperti pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Klasifikasi *Cooling Tower* (Suhardi Putra, 2015)

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

untuk kemudian disirkulasikan lagi menuju kondenser agar dapat menyerap kalor lagi. Pada saat persinggungan air dan udara, sejumlah air akan ikut terbang ke udara, sehingga volume air akan berkurang. Untuk mengatasinya, maka *make-up water* yang dihubungkan dengan jalur air domestik (PAM) dengan dilengkapi pelampung akan tetap menjaga agar level air di penampung tidak berkurang, seperti pada gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja *Cooling Tower* (Suhardi Putra, 2015)

Komponen *cooling tower* (pada proses mesin injeksi plastik) jenis aliran angin tarik (*induced draft counterflow cooling tower*) secara garis besar adalah:

a) Kipas (*fan*)

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 rusak atau tidak berfungsi maka kinerja menara pendingin tidak maksimal. Kipas digerakkan oleh motor listrik dan di kopel langsung oleh poros kipas.

b) Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)

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

c) Rumah menara pendingin (*casing*)

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

d) Pipa *sprinkler*

Merupakan pipa yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada menara pendingin, sehingga perpindahan kalor air dapat efektif dan efisien. Pipa *sprinkler* dilengkapi lubang-lubang kecil untuk menyalurkan air.

e) Penampung air (*water basin*)

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

f) Lubang udara (*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.

g) Bahan pengisi (*filling material*)

Filling material merupakan bagian dari menara pendingin yang berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara yang bergerak naik. Air yang masuk mempunyai suhu yang cukup tinggi akan disemprotkan ke *filling* material. Pada *filling* material inilah air yang mengalir turun menuju *water basin* akan bertukar kalor dengan udara segar dari atmosfer yang suhunya. Oleh sebab itu, *filling* material harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. *Filling* material ini mempunyai fungsi memecah air menjadi butiran-butiran tetes air dengan maksud memperluas permukaan pendinginan sehingga proses perpindahan panas dapat dilakukan seefisien mungkin. (Suhardi Putra, 2015)

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Berikut adalah tempat dan waktu penelitian yang dilakukan pada Analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower*.

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan penulisan tugas akhir analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower* dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Kapten Muchtar Basri No. 03 Medan.

3.1.2 Waktu dan Tahapan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini di mulai dari tanggal di sahkannya usulan judul analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower* oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin yaitu pada tanggal 1 Januari 2024 sampai dengan 29 Februari 2024 (kurang lebih 2 bulan) dilaksanakan di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Tabel 3. 1 Tahap – tahap Pelaksanaan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan			
		1	2	3	4
1	Studi Literatur	■			
2	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	■			
3	Desain <i>Cooling Tower</i>	■	■		
4	Pengujian dengan Metode CAE		■	■	
5	Analisa Data			■	■
6	Evaluasi dan Penyelesaian Penulisan				■
7.	Seminar Hasil dan Sidang Sarjana				■

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk pembuatan *Cooling Tower* menggunakan bahan sebagai berikut :

1. *Cooling Tower*

Tinggi : 232 cm

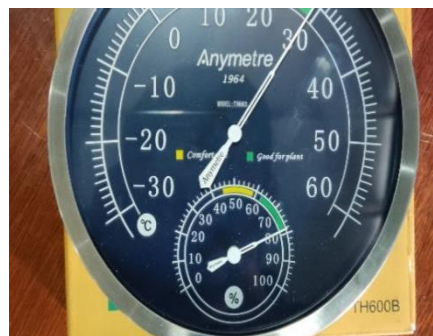
Kapasitas Penampung : 36 Liter



Gambar 3.1 *Cooling Tower*

2. *Thermo Hygrometer*

Digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan ruangan



Gambar 3.2 *Thermo Hygrometer*

3. Thermometer Air Raksa

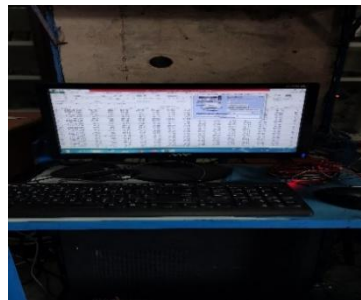
Digunakan untuk mengukur suhu air secara manual



Gambar 3.3 Thermometer Air Raksa

1 Komputer

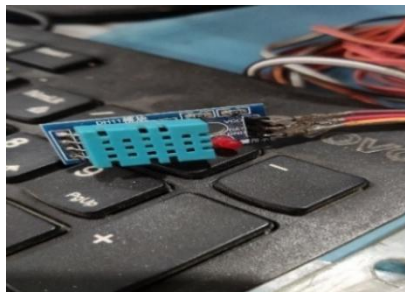
- b. *Processor* :Intel Core i3
- c. *Ram* :3GB DDR3
- d. *Operasi Sistem* :Windows 7 *ultimate* 64-bit



Gambar 3.4 Komputer

2 Sensor DHT11

Untuk mengukur kelembapan ruangan menggunakan arduino.



Gambar 3.5 Sensor DHT11

3 Sensor DS18B20

Digunakan untuk mengukur suhu air dengan arduino.



Gambar 3.6 Sensor DS18B20

4 *Flow Meter*

Digunakan untuk mengukur laju aliran air



Gambar 3.7 *Flow Meter*

5 Thermostat STC 1000

Digunakan untuk pengaturan suhu otomatis pada *Cooling Tower*



Gambar 3.8 Thermostat STC 1000

6 *Hybrid*

Digunakan untuk mengurangi panas pada suhu air masuk .

Panjang :10 cm

Lebar :26 cm

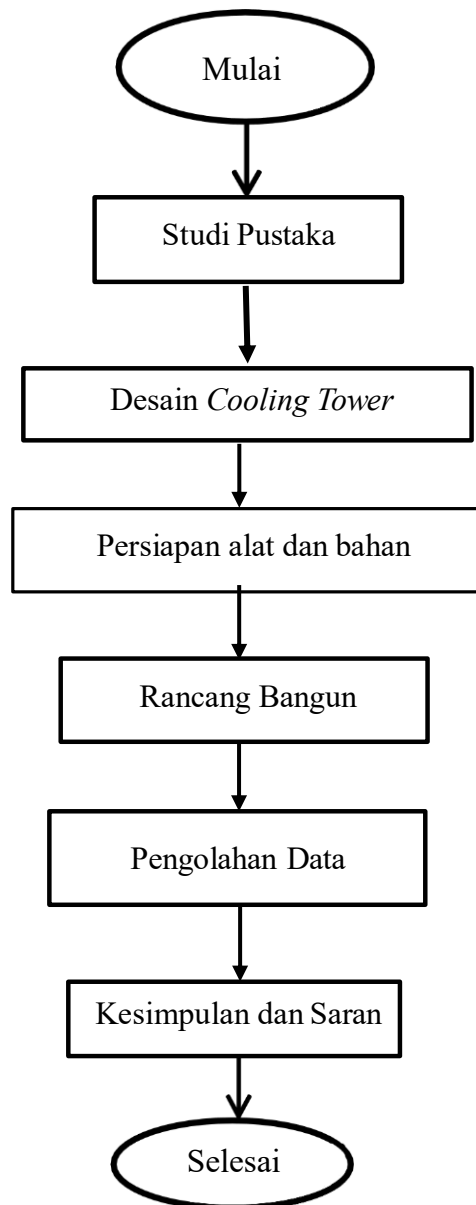
Tinggi :38 cm



Gambar 3.9 *hyrbid*

3.3 Bagan Alir Penelitian

Agar Penelitian dapat berjalan lancar secara sistematis, maka diperlukan rancangan penelitian :



Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian

3.4 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan antara lain :

1. *Flow meter*, untuk mengukur volume air.
2. *Stop Watch* untuk mengukur waktu alir air.
3. Kran air mengatur jumlah debit yang divariasi.
4. *Water Heater* memanaskan air.
5. *Belower* untuk mengalirkan udara kedalam menara pendingin.
6. Thermometer digital untuk mengukur temperatur air, temperatur udara dan temperatur li]ngkungan.
7. Pompa air, untuk mensirkulasikan air.

3.5 Prosedur Penelitian

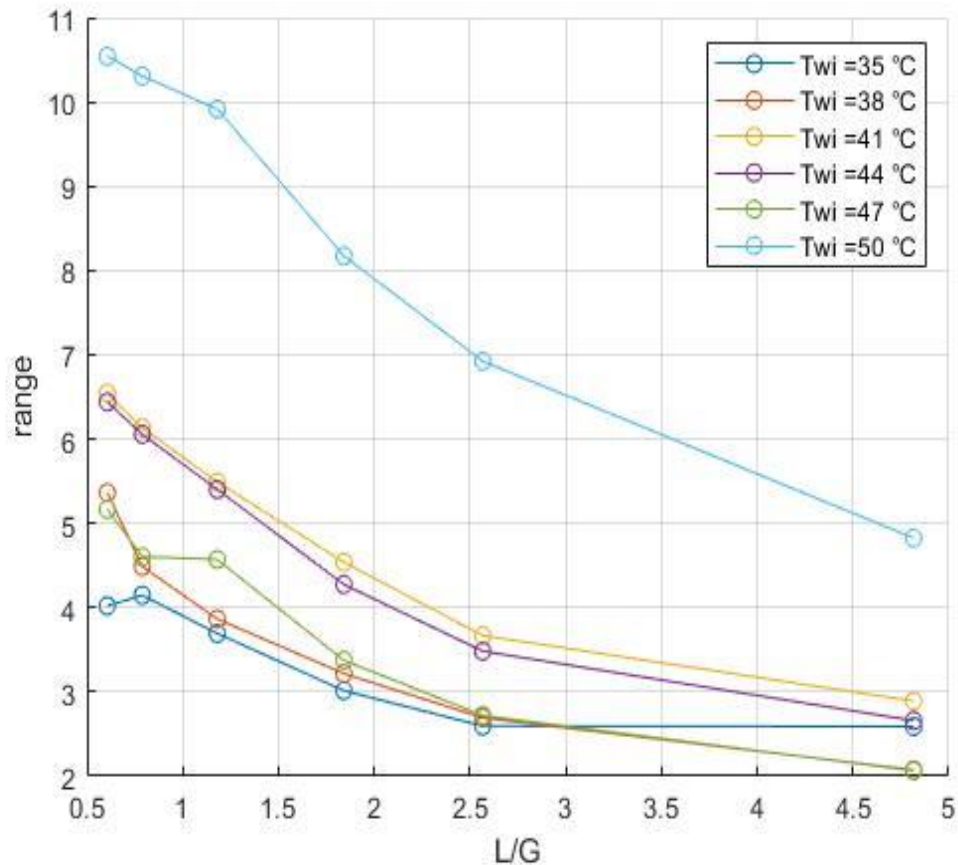
1. Persiapan alat dan bahan. Sekat dipasang dengan sudut *fill* tertentu.
2. Pemanas air *hitter* dan *blower* dihidupkan.
3. Pompa dihidupkan, katup dibuka untuk pengaturan debit sesuai keinginan.
4. Pengukuran-pengukuran suhu setiap menit selama 5 menit. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung nilai rata-rata.
5. Mengulangi percobaan untuk variasi yang lain.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Kinerja *Cooling Tower*

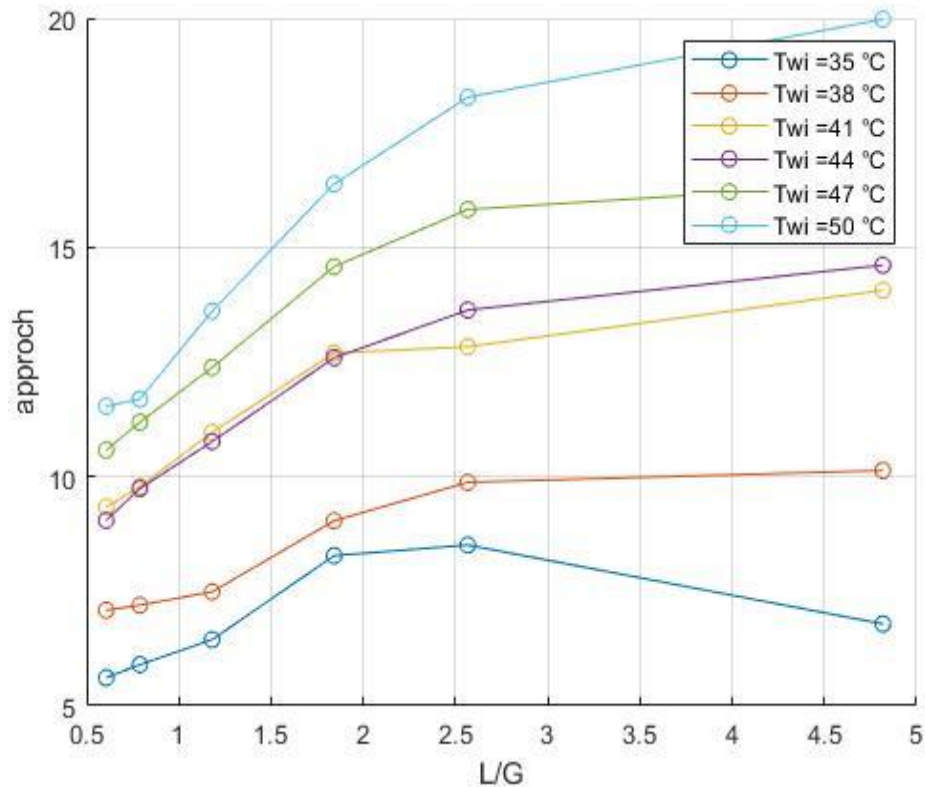
1. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Range Cooling Tower* Pada Laju Aliran Air 4 liter.



Gambar 4.1 Pengaruh L/G terhadap *range*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50° C memiliki nilai *range* 10,54° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C, dan 35° C, sedangkan nilai *range* terendah di tunjukan pada suhu air 38° C, dengan nilai 2,07° C pada LG 0,61° C dari penjelasan di atas terlihat semakin besar L/G nya maka *range* nya semakin menurun.

2. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Approach Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 4 Liter

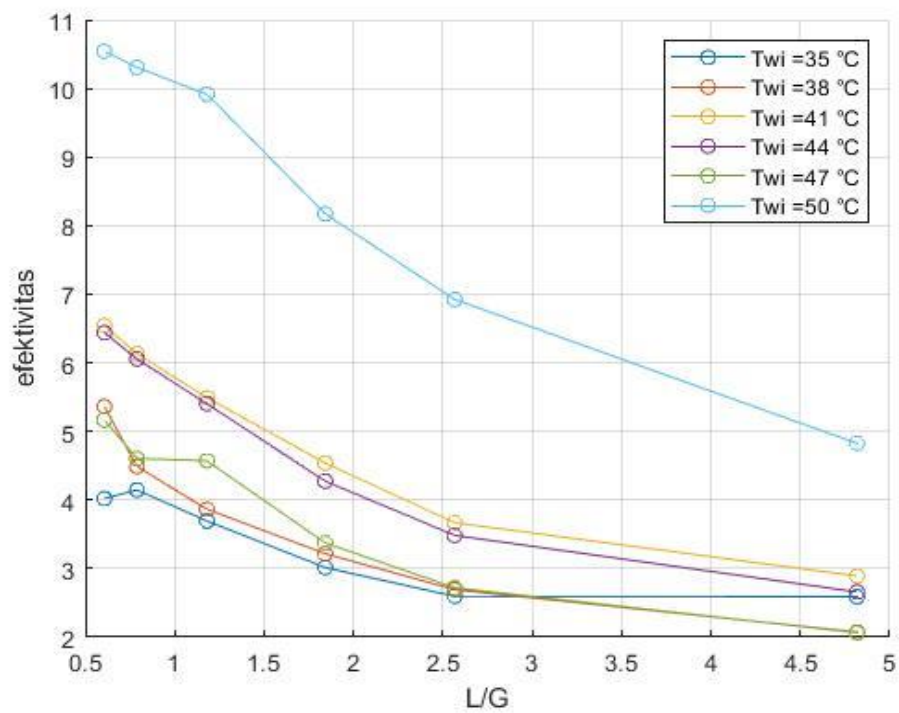


Gambar 4.2 Pengaruh L/G terhadap *approach*

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *approach* 19,98° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C, sedangkan nilai *approach* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 6,79° C pada L/G 0,61 dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *approach* nya semakin menurun.

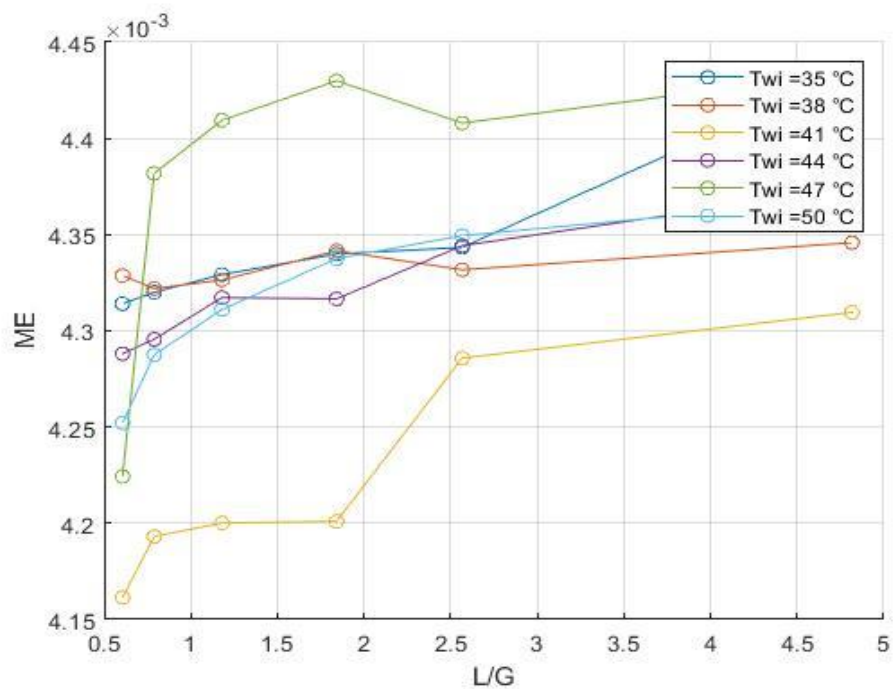
3. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Efektivitas *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 4 Liter.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai efektivitas 10,54° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 35° C, 44°C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai efektivitas terendah di tunjukan pada suhu air 47° C dengan nilai 2,065° C, pada L/G 0,61°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka efektivitas nya semakin menurun.



Gambar 4.3 Pengaruh L/G terhadap efektivitas

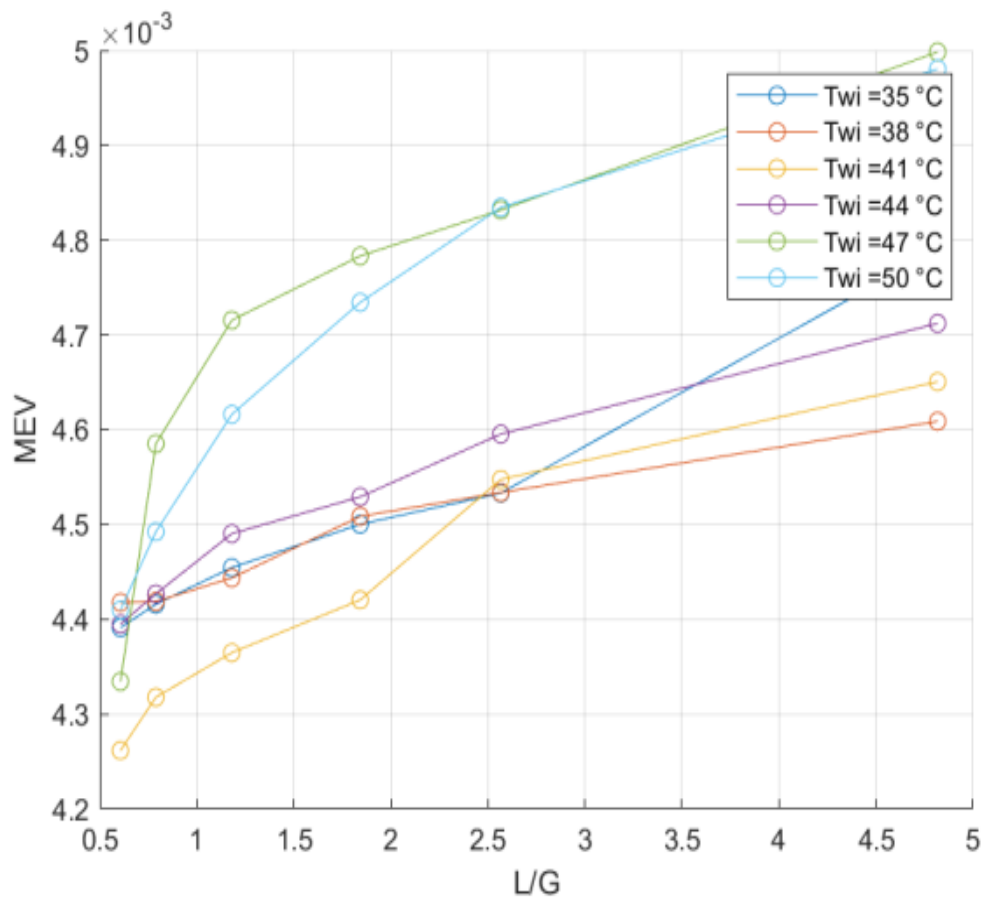
4. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Me *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 4 Liter.



Gambar 4.4 Pengaruh L/G terhadap me

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai me 0,0044° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 35° C dan 38° C sedangkan nilai me terendah di tunjukan pada suhu air 41° C, dengan nilai 0,0041° C, pada L/G 0,61°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka me nya semakin menurun.

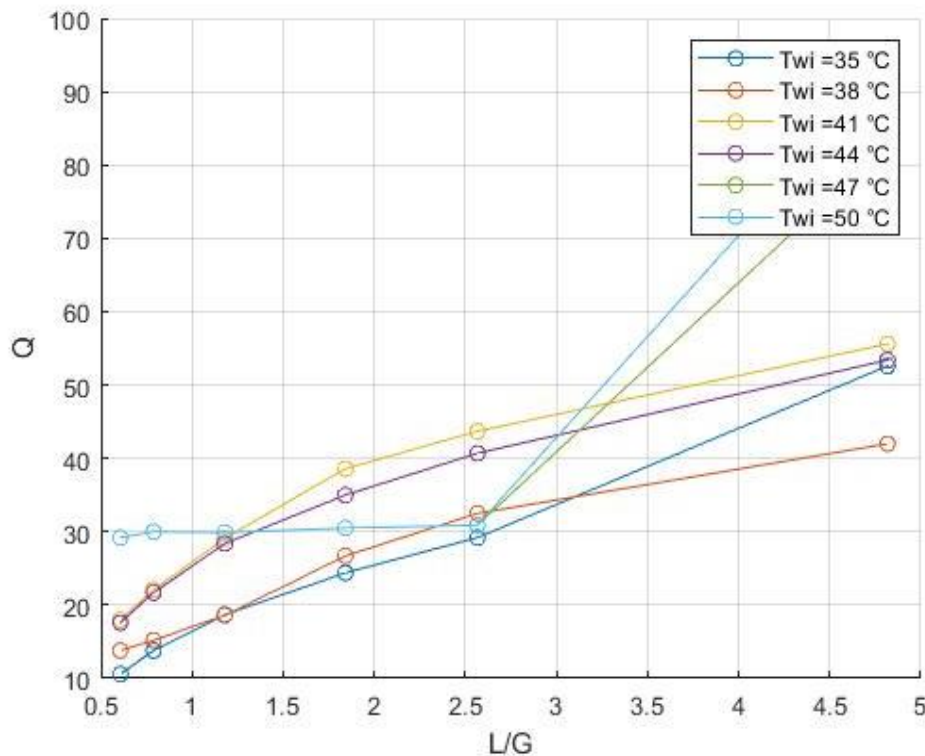
5. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Mev *Cooling Tower* Pada Laju Aliran Air 4 Liter.



Gambar 4.5 Pengaruh L/G terhadap meV

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai meV 0,0049° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 35° C dan 38° C sedangkan nilai meV terendah di tunjukan pada suhu air 41° C, dengan nilai 0,0043° C, pada L/G 0,61°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka meV nya semakin menurun.

6. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Q *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 4 Liter.



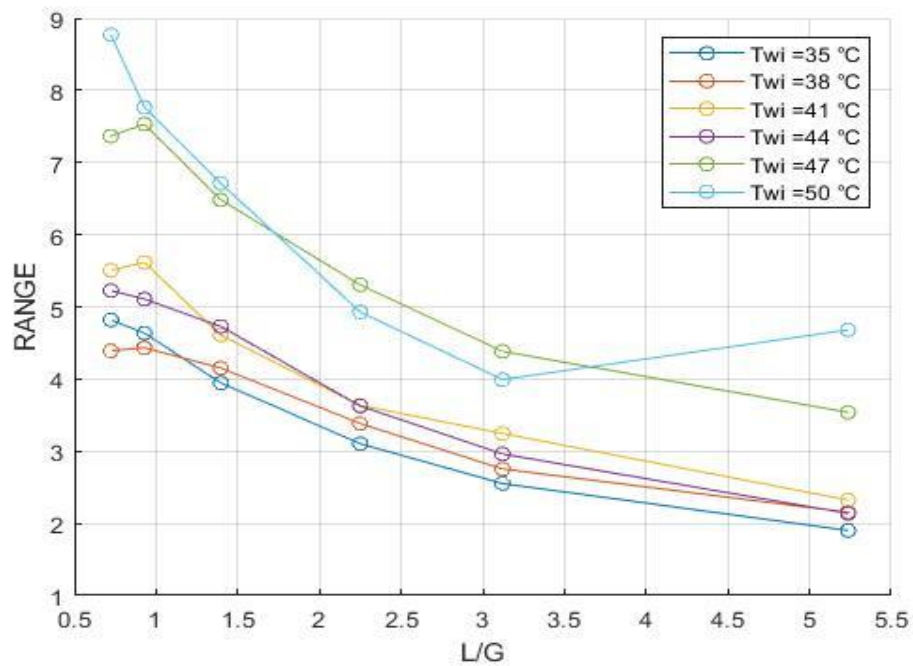
Gambar 4.6 Pengaruh L/G terhadap Q

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai Q 92,90° C pada L/G 4,82 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai Q terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 10,60° C, pada L/G 0,61°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka Q nya semakin menurun.

4.2 Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Cooling Tower*

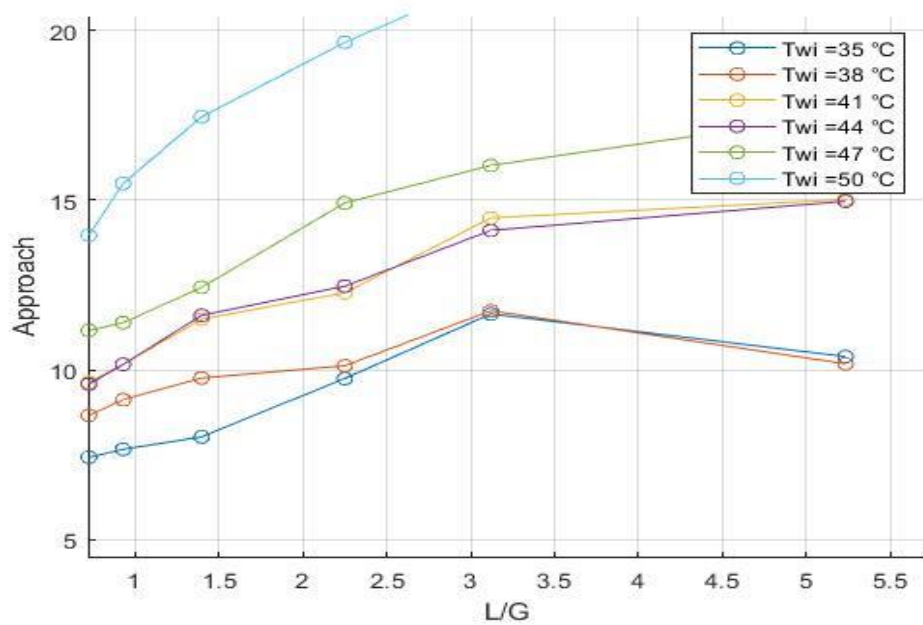
1. Pengaruh Rasio Air-Udara (L/G) terhadap *Range Cooling Tower* Pada Laju Aliran Air 5 Liter

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *range* 8,77° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai *range* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 1,90° C, pada L/G 0,72°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *range* nya semakin menurun.



Gambar 4.7 Pengaruh L/G terhadap *range*

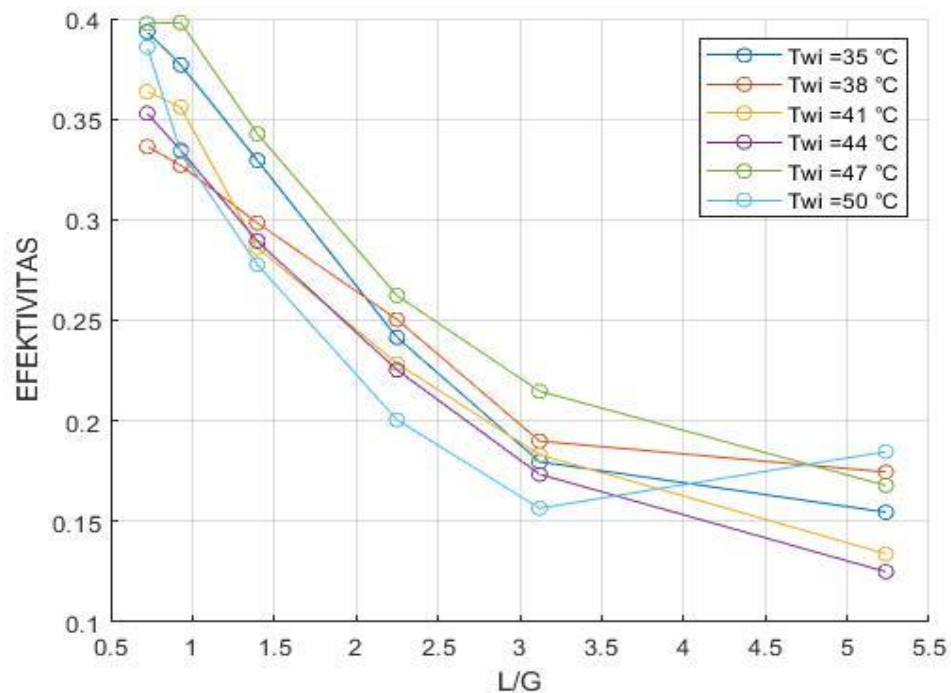
2. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Approach Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 5 Liter



Gambar 4.8 Pengaruh L/G terhadap *approach*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *approach* 20,65° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai *approach* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 7,42° C, pada L/G 0,72°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *approach* nya semakin menurun.

3. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Efektifitas *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 5 Liter

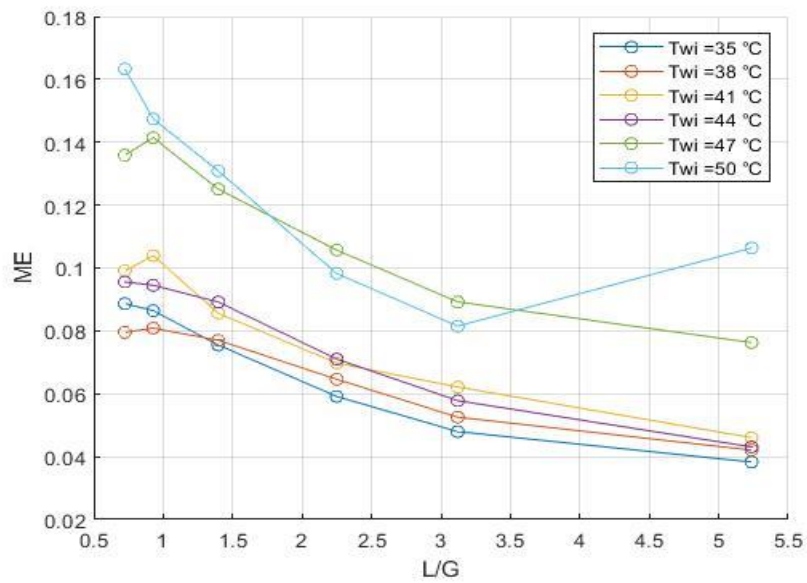


Gambar 4.9 Pengaruh L/G terhadap efektivitas

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 47°C memiliki nilai efektivitas 0,39° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 50° C, 35° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai efektivitas terendah di tunjukan pada suhu air 44° C, dengan nilai 0,12° C, pada L/G 0,72°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka efektivitas nya semakin menurun.

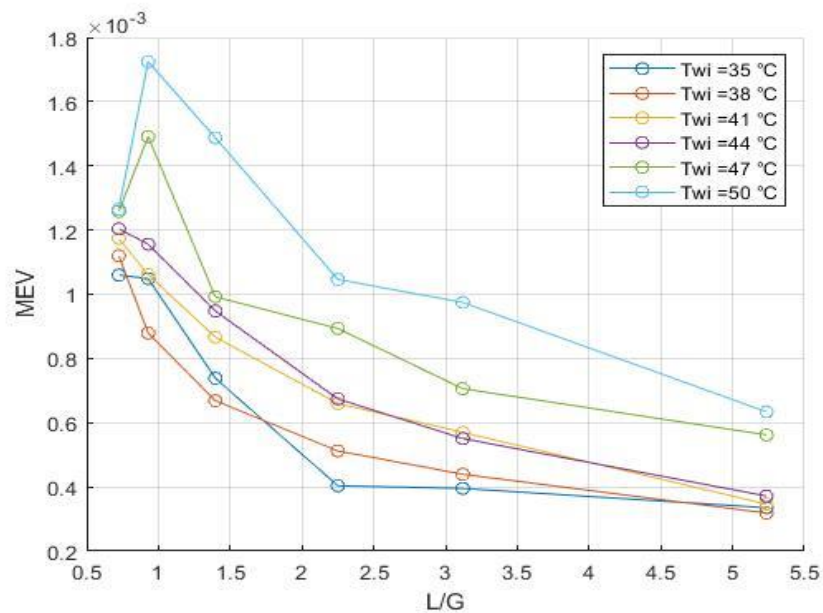
4. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Me *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 5 Liter

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai me 0,16° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai me terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 0,03° C, pada L/G 0,72 dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka me nya semakin menurun.



Gambar 4.10 Pengaruh L/G terhadap me

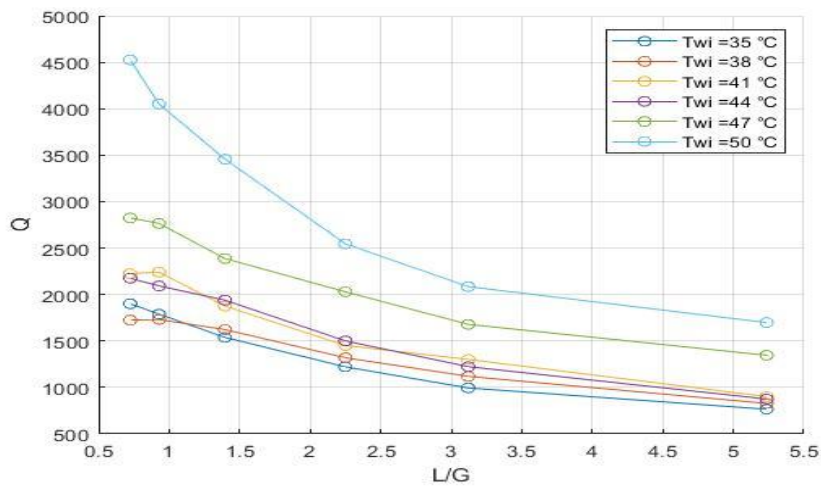
5. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap me *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 5 Liter



Gambar 4.11 Pengaruh L/G terhadap mev

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai mev 0,017° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 41° C dan 38° C sedangkan nilai mev terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 0,003° C, pada L/G 0,72°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka mev nya semakin menurun.

6. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Q *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 5 Liter

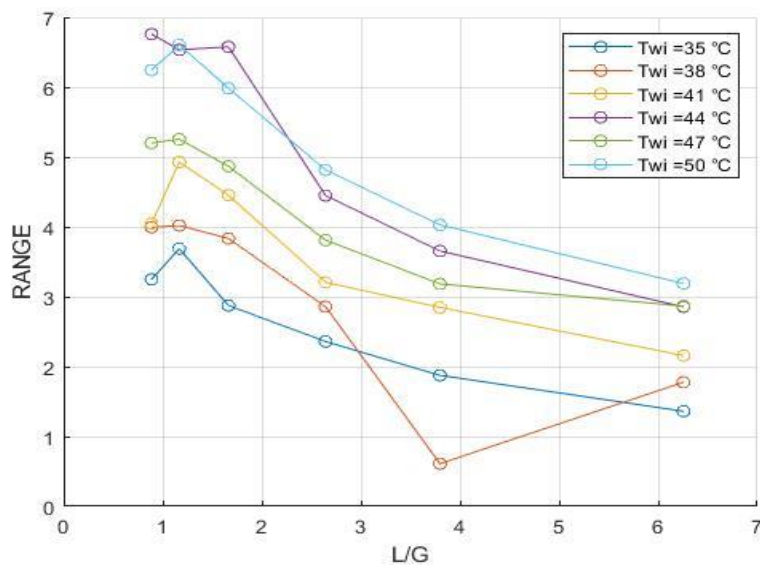


Gambar 4.12 Pengaruh L/G terhadap Q

Gambar 4.12 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 41°C memiliki nilai Q 90,13° C pada L/G 5,23 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 44° C, 50° C dan 35° C sedangkan nilai Q terendah di tunjukan pada suhu air 38° C, dengan nilai 11,19° C, pada L/G 0,72°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka Q nya semakin menurun.

4.3 Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Cooling Tower*

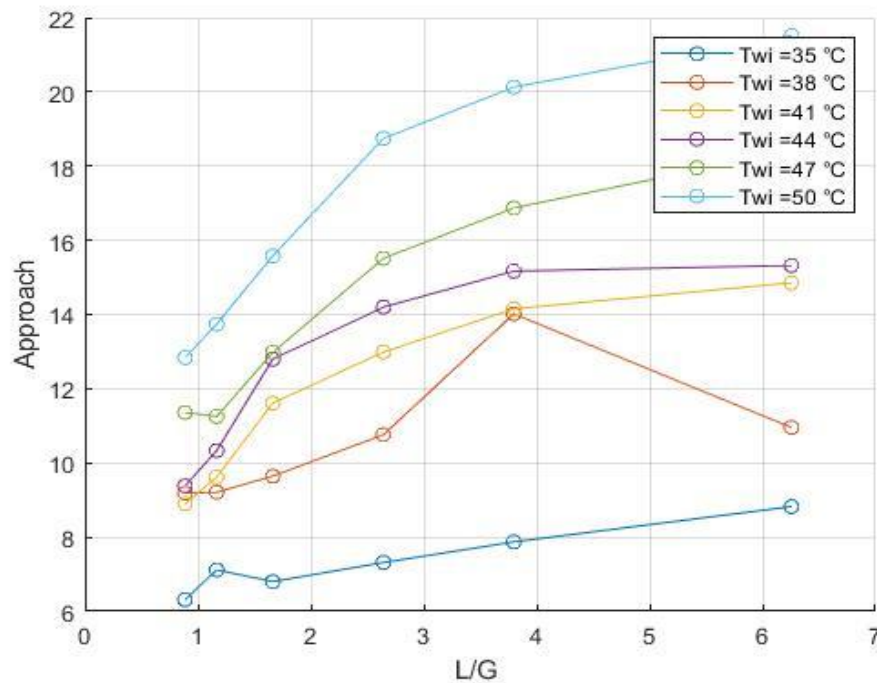
1. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Range Cooling Tower* pada Suhu 6 Liter.



Gambar 4.13 Pengaruh L/G terhadap range

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 44°C memiliki nilai *range* $6,75^{\circ}\text{C}$ pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47°C , 50°C , 41°C dan 35°C sedangkan nilai *range* terendah di tunjukan pada suhu air 38°C , dengan nilai $0,61^{\circ}\text{C}$, pada L/G 0,88 $^{\circ}\text{C}$ dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *range* nya semakin menurun.

2. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Approach Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 6 Liter

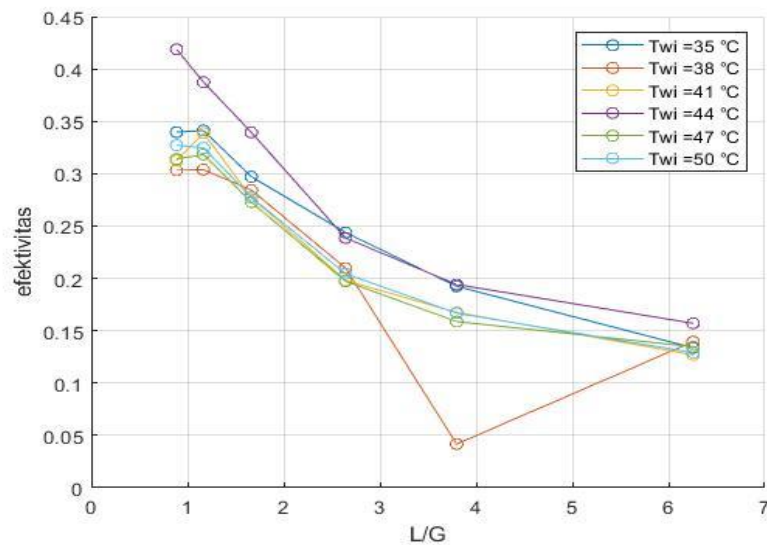


Gambar 4.14 Pengaruh L/G terhadap *approach*

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *approach* $21,51^{\circ}\text{C}$ pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47°C , 44°C , 41°C dan 38°C sedangkan nilai *approach* terendah di tunjukan pada suhu air 35°C , dengan nilai $6,31^{\circ}\text{C}$, pada L/G 0,88 $^{\circ}\text{C}$ dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *approach* nya semakin menurun.

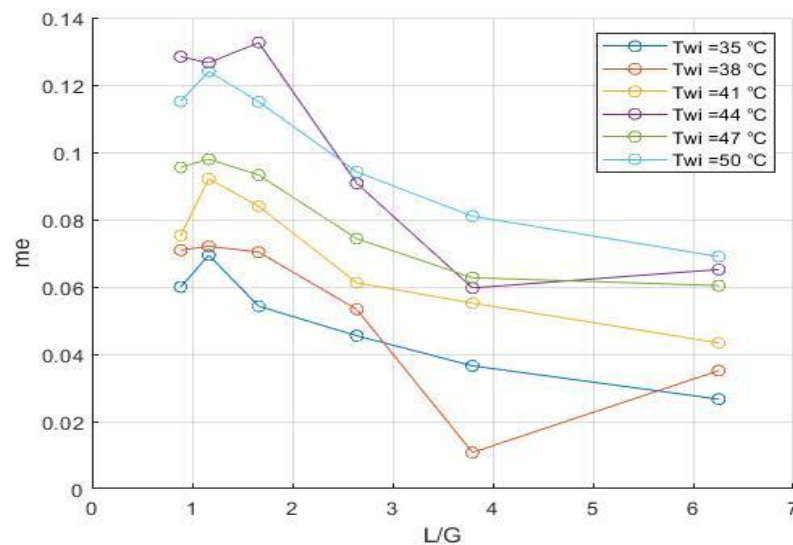
3. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Efektivitas *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 6 Liter

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada sebesar 44°C memiliki nilai efektivitas 0,41° C pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 50° C, 41° C dan 35° C sedangkan nilai efektivitas terendah di tunjukan pada suhu air 38° C, dengan nilai 0,04° C, .pada L/G 0,88 dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka efektivitas nya semakin menurun.



Gambar 4.15 Pengaruh L/G terhadap efektivitas

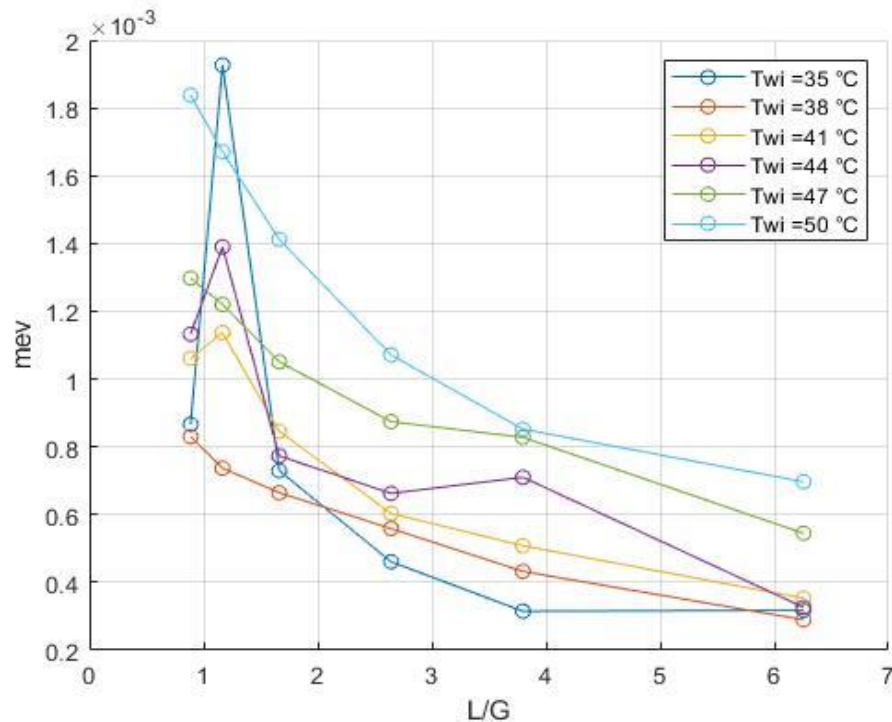
4. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap me *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 6 Liter



Gambar 4.16 Pengaruh L/G terhadap me

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 44°C memiliki nilai me 0,13° C pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 50° C, 41° C dan 35° C sedangkan nilai me terendah di tunjukan pada suhu air 38° C, dengan nilai 0,01° C, pada L/G 0,88°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka me nya semakin menurun.

5. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap mev *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 6 Liter

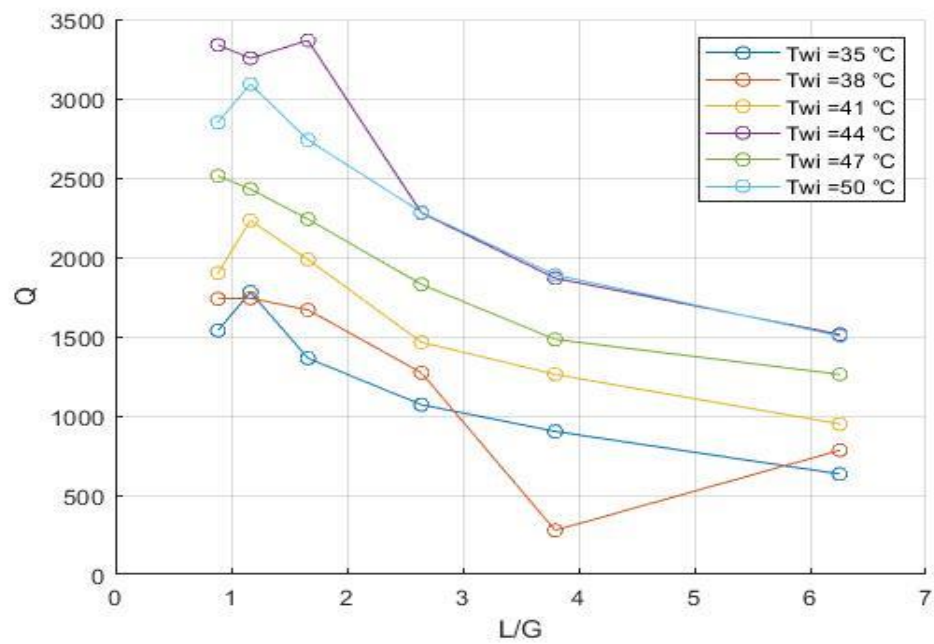


Gambar 4.17 Pengaruh L/G terhadap mev

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 35°C memiliki nilai mev 0,019° C pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 47° C, 50° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai mev terendah di tunjukan pada suhu air 38° C, dengan nilai 0,002° C, pada L/G 0,88°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka mev nya semakin menurun.

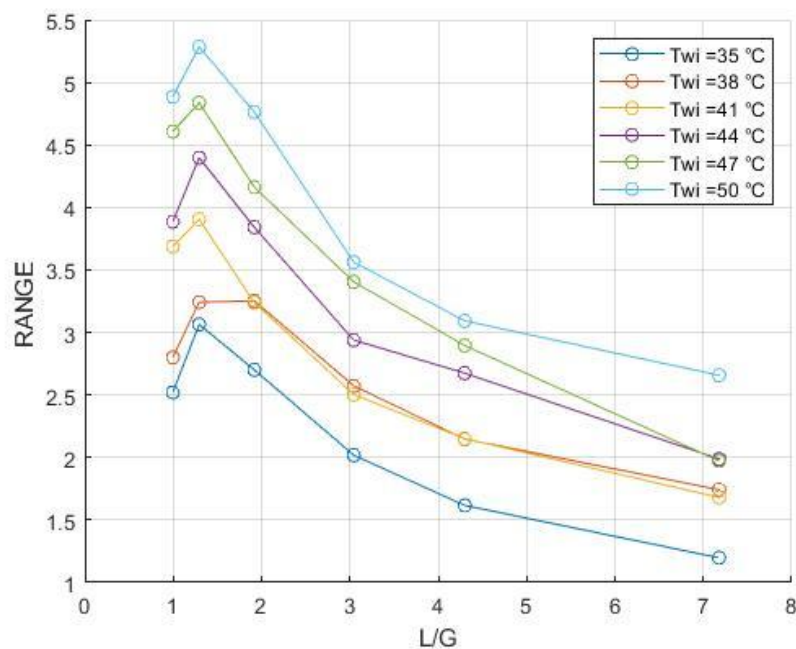
6. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Q *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 6 Liter

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 35°C memiliki nilai Q 9,019° C pada L/G 6,25 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38°C, 50° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai Q terendah di tunjukan pada suhu air 47° C, dengan nilai 1,261° C, pada L/G 0,88°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka Q nya semakin menurun.



Gambar 4.18 Pengaruh L/G terhadap Q

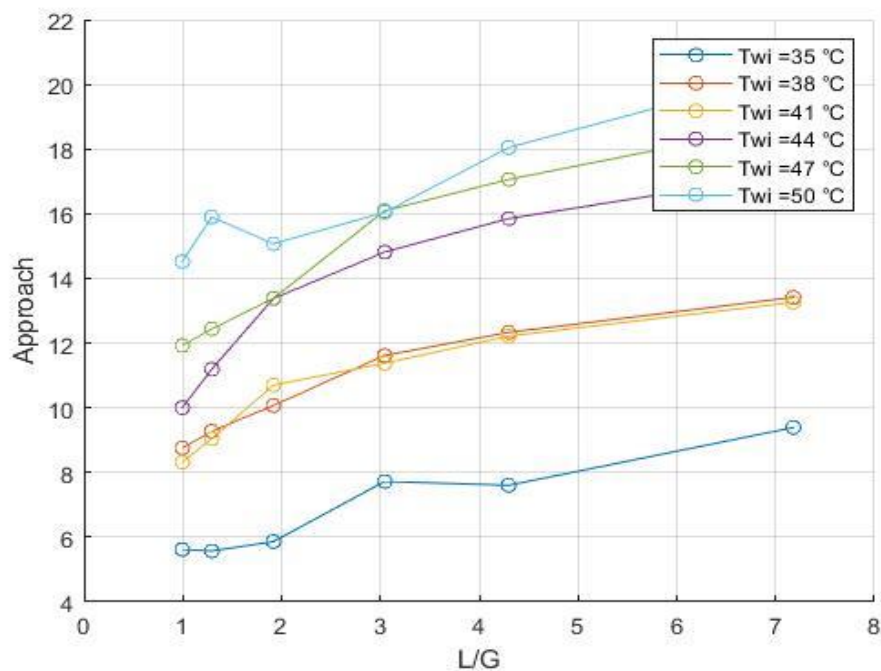
- 4.4 Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Cooling Tower*
1. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Range Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter



Gambar 4.19 Pengaruh L/G terhadap *range*

Gambar 4.19 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 47°C memiliki nilai *range* 4,83° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 50° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai *range* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 1,19° C, pada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *range* nya semakin menurun.

2. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *Approach Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter

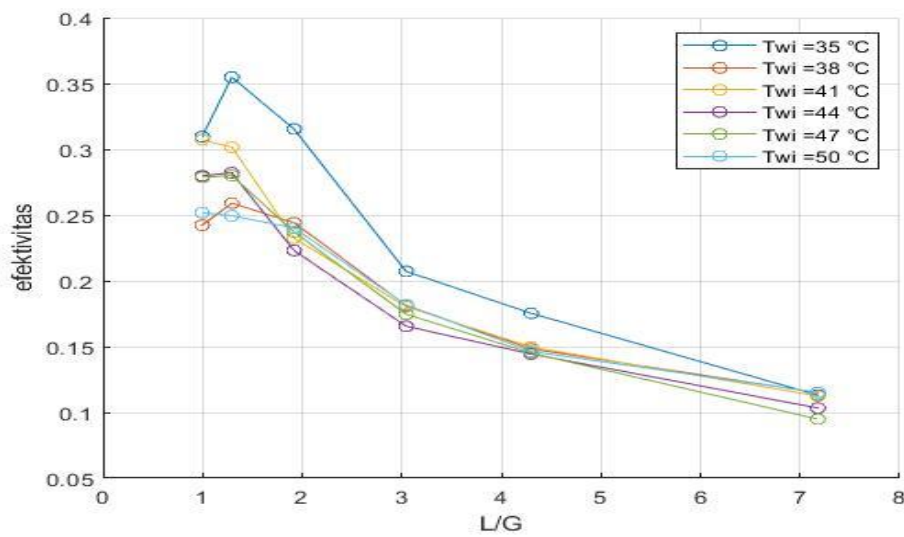


Gambar 4.20 Pengaruh L/G terhadap *approach*

Gambar 4.20 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *approach* 20,40° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 47° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai *approach* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 5,57° C, apada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *approach* nya semakin menurun.

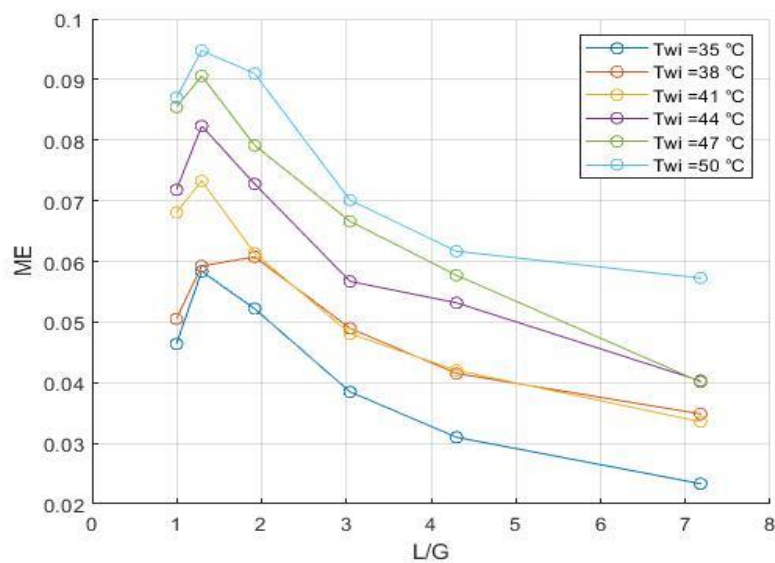
3. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Efektivitas *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter

Gambar 4.21 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada sebesar 35°C memiliki nilai efektivitas 0,35° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 50° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai efektivitas terendah di tunjukan pada suhu air 47° C, dengan nilai 0,09° C, pada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka efektivitas nya semakin menurun.



Gambar 4.21 Pengaruh L/G terhadap efektivitas

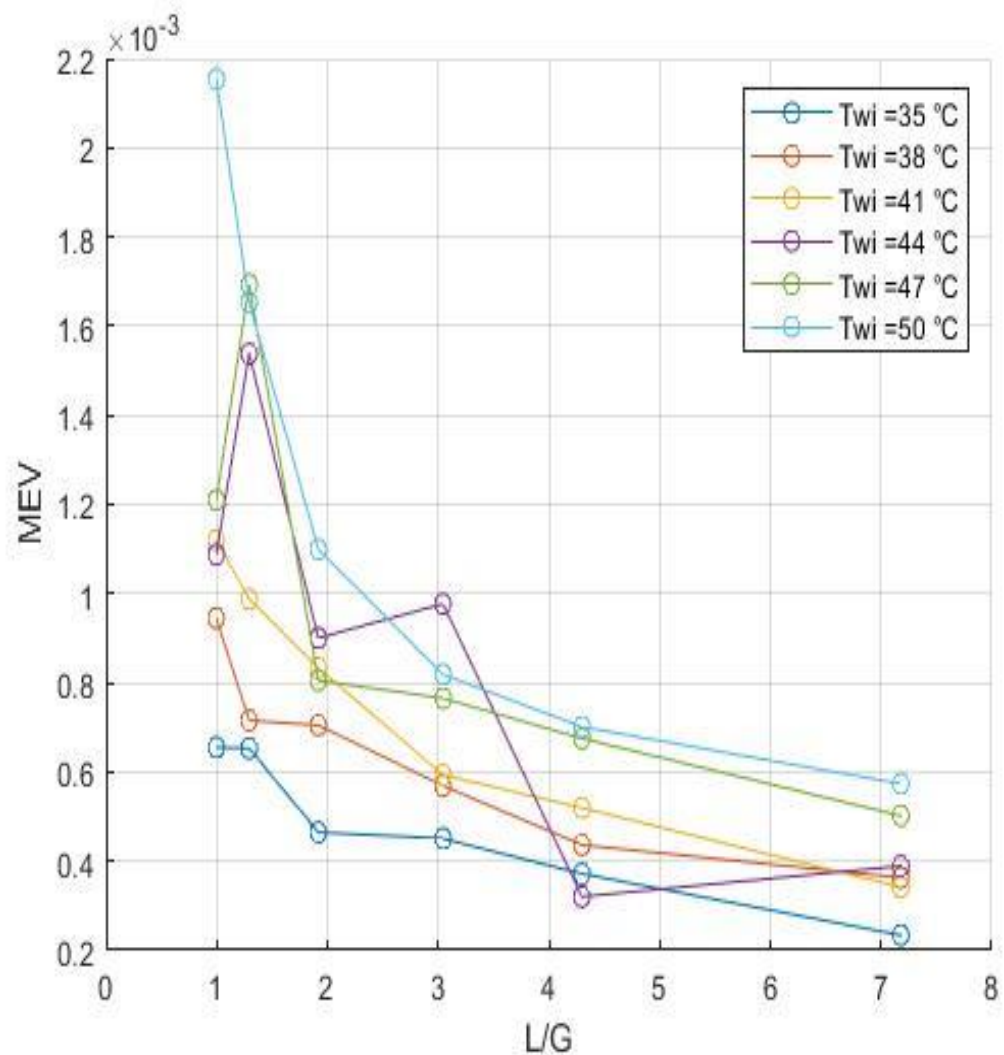
4. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap me *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter



Gambar 4.22 Pengaruh L/G terhadap me

Gambar 4.22 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai me 0,094° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 47° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai me terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 0,023° C, pada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka me nya semakin menurun.

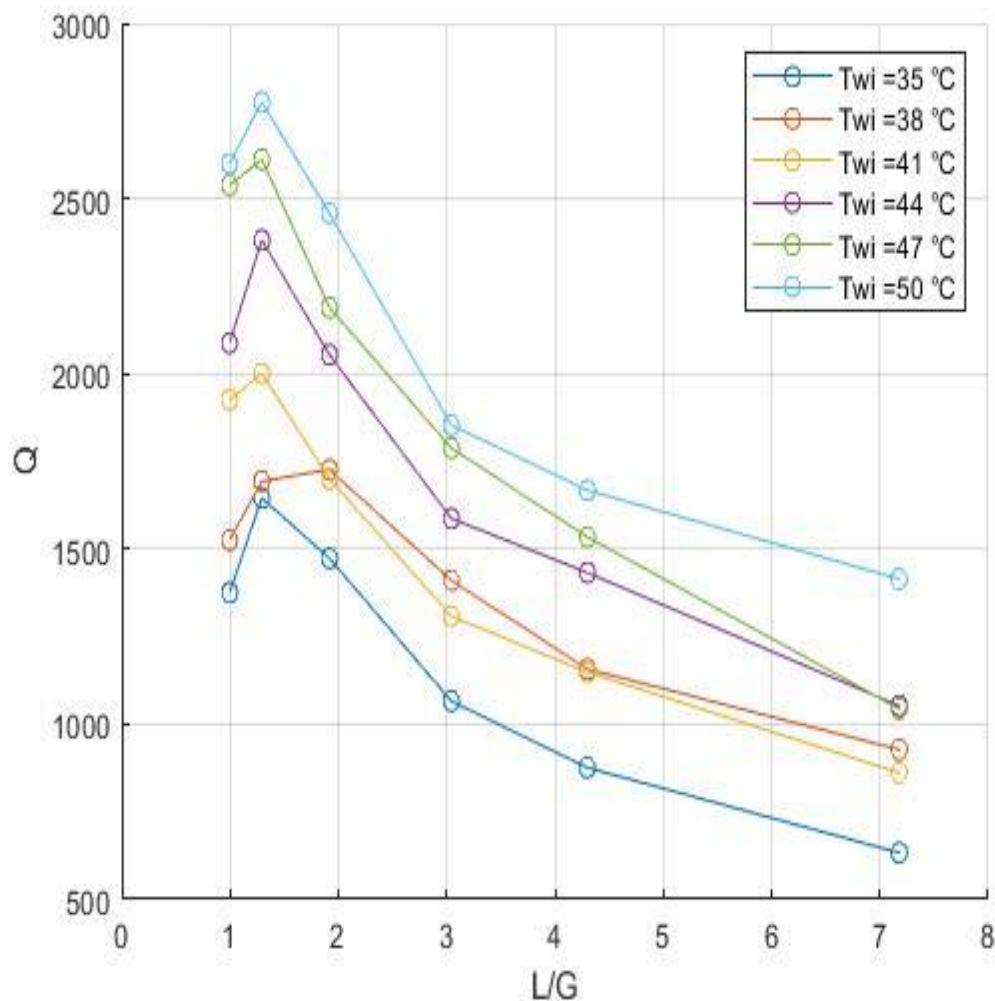
5. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap *mev Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter



Gambar 4.23 Pengaruh L/G terhadap *mev*

Gambar 4.23 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai *mev* 0,021° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 47° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai *mev* terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 0,002° C, pada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka *mev* nya semakin menurun.

6. Pengaruh Rasio Air-udara (L/G) terhadap Q *Cooling Tower* pada Laju Aliran Air 7 Liter



Gambar 4.24 Pengaruh L/G terhadap Q

Gambar 4.24 menunjukkan bahwa suhu air masuk pada *cooling tower* sebesar 50°C memiliki nilai Q 2598° C pada L/G 7,17 merupakan suhu tertinggi di banding dengan suhu air 38° C, 47° C, 41° C dan 44° C sedangkan nilai Q terendah di tunjukan pada suhu air 35° C, dengan nilai 633° C, pada L/G 0,99°C dari penjelasan di atas maka semakin besar L/G nya maka Q nya semakin menurun.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pegujian untuk menganalisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower* ada beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil dari analisa eksperimen kinerja *hybrid wet cooling tower* pada (L/G) terhadap *Range*, *Approach*, Efektivitas, Q, Me, dan Mev Didapat grafik yang tertinggi ditunjukkan pada nilai Q 92,90°C. dan grafik terendah di tunjukan pada Mev 0,0002 °C.
2. Dari grafik suhu air masuk di atas rata suhu 50°C. Lebih tinggi dari pada suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C, Sedangkan suhu air masuk terendah di tunjukan pada suhu 35°C.
3. Dari hasil Analisa eksperimen kinerja *hybrid* pada L/G *wet cooling tower* menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi lain seperti dry cooling tower atau pure wet cooling tower dalam menjaga suhu operasi yang optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang di peroleh dari penelitian tentang *cooling tower hybrid*, di rekomendasikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Adakan pelatihan rutin untuk tim terkait teknologi terbaru, praktik terbaik, dan prosedur keselamatan.
2. Tinjau dan perbarui prosedur keselamatan secara rutin pastikan *cooling tower* mematuhi semua standart lingkungan yang berlaku, termasuk praturan tentang pengendalian emisi dan pengelolaan air limbah.
3. Lakukan pemeliharaan preventif yang teratur dan investasi dalam bahan kontruksi yang tahan lama dan anti korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- A, A., I, Q. & G, R., 2018. Pengaruh sudut alur sekat terhadap unjuk kerja menara pendingin (cooling tower). *Dinamika Teknik Mesin*, 1 Januari, 8(1), p. 21.
- Afandi, D. et al., 2022. Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Penampang Sekat Terhadap Kinerja Novel Cooling Tower Prototype. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, Oktober.8(2).
- Effendi, A. & Wirza, R., 2013. Perencanaan Sistem Scada Cooling Tower Menggunakan Siemens Simatic Step 7 Dan Wincc. *Teknoif*, April, 1(1), pp. 6-15.
- Fauzi, D. A. & Rudyanto, B., 2016. Analisa Performa Menara Pendingin Pada Pt. Geo Dipa Energi Unit Dieng. *Ilmiah Rotari*, Agustus, 1(1), pp. 25-32.
- Kharkhov, V. V., Madyshev, I. N., Kuznetsov, M. G. & Nikolaev, A. N., 2022. Experimental study of heat transfer in tube-type radiator of hybrid cooling tower. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1045(1).
- Li, S. & Flynn, M. R., 2021. Cooling tower plume abatement and plume modeling: a review. *Environmental Fluid Mechanics*, 21(3).
- Liu, N., Zhang, L. & Zia, X., 2017. The Effect of the Air Water Ratio on Counter Flow Cooling Tower. *Procedia Engineering*, Volume 205, pp. 3550-3556.
- Mahmud, T., Islam, K. M. & Salam, B., 2014. Experimental Study Of Forced Draft Cross Flow Wet Cooling Tower Using Splash Type Fill. *International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy*, May.pp. 2-6.
- Melkias, A. A., 2020. Analisa Performa Pada Cooling Tower Jenis Mechanical Draft Crossflow. *Jurnal Teknik Energi*, November, 10(1), pp. 24-28.
- Nuriyadi, M., 2019. Perbandingan Kinerja Sistem Pendingin Evaporatif Jenis Langsung Dan Tak Langsung. *Seminar Nasional Edusainstek*, p. 27.
- Paquin, F. et al., 2015. Multi-phase microstructures drive exciton dissociation in neat semicrystalline polymeric semiconductors. pp. 10715-10722.
- R. & Mursadin, A., t.thn. Analisis Kinerja Cooling Tower Menggunakan Metode Range Dan Approach Di Pltu Asam-Asam. *Jtam Rotary*, 4(2).
- Santoso, B., Tjahjana, D. D. D. & Joko Widodo, P., 2017. Influence of Guide Vane Number and Angle on Cross Flow Turbine Performance of Cooling Tower. *jurnal Teknik Mesin*, Oktober.pp. 19-24.
- Suhardi Putra, R., 2015. Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower Pada Fluida Di Mesin Injeksi Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, Juni, 4(2), p. 19.

- Winata, H., Syamsuddin, E. & Calvinus, Y., 2013. Sistem Pengawasan Dan Pengontrolan cooling tower Pada Industri Manufaktur. *TESLA : Jurnal Teknik Elektro*, Maret, 15(1), pp. 73-84.
- Zakawali, A. Z., Widodo, S. & Akbar, A., 2018. Penambahan Water Coolant Pada Cooling Tower Tipe Counter Flow. *Jurnal Mesin Nusantara*, Desember.1(2).
- Zhou, Z. et al., 2020. Comparison analysis of four wind breaking designs for the hybrid cooling-tower-solar-chimney system under crosswind conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 474(5), pp. 2-7.
- Zohrarirani, F. & Permatasari, P. D., t.thn. Studi Kasus Drift Loss Pada Cooling Tower Unit 3 Di Pt. Indonesia Power Upjp Kamojang Unit Pltp Kamojang. pp. 1-6.

LAMPIRAN

A. Pengaruh L/G pada kinerja *cooling tower* dengan laju aliran 5 l/m

1. Pengaruh L/G terhadap *Range*

L/G	Range 35	Range 38	Range 41	Range 44	Range 47	Range 50
4.82	2.59	2.07	2.89	2.66	2.07	4.82
2.57	2.60	2.69	3.67	3.48	2.72	6.92
1.84	3.01	3.22	4.54	4.27	3.38	8.17
1.18	3.69	3.86	5.49	5.40	4.57	9.91
0.79	4.15	4.49	6.13	6.06	4.60	10.31
0.61	4.02	5.36	6.54	6.44	5.17	10.54

2. Pengaruh L/G terhadap *Approach*

L/G	App 35	App 38	App 41	App 44	App 47	App 50
4.82	6.79	10.13	14.06	14.61	16.40	19.98
2.57	8.51	9.88	12.83	13.63	15.83	18.27
1.84	8.27	9.04	12.69	12.59	14.58	16.38
1.18	6.44	7.49	10.97	10.76	12.38	13.61
0.79	5.90	7.20	9.78	9.74	11.19	11.69
0.61	5.61	7.08	9.34	9.04	10.58	11.54

3. Pengaruh L/G terhadap Efektivitas

L/G	Efek 35	Efek 38	Efek 41	Efek 44	Efek 47	Efek 50
4.82	2.590	2.074	2.892	2.660	2.065	4.825
2.57	2.596	2.693	3.668	3.483	2.719	6.923
1.84	3.015	3.217	4.539	4.274	3.375	8.172
1.18	3.693	3.865	5.490	5.402	4.571	9.914
0.79	4.147	4.488	6.133	6.056	4.604	10.31
0.61	4.021	5.363	6.544	6.439	5.166	10.54

4. Pegaruh L/G terhadap Me

L/G	Me 35	Me 38	Me 41	Me 44	Me 47	Me 50
4.82	0.0044346370	0.0043458260	0.0043096188	0.0043740724	0.0044343087	0.0043681688
2.57	0.0043433392	0.0043317073	0.0042858372	0.0043442647	0.0044079808	0.0043494667
1.84	0.0043399462	0.0043416364	0.0042010458	0.0043166272	0.0044299289	0.0043375493
1.18	0.0043292367	0.0043264184	0.0042001636	0.0043172766	0.0044094188	0.0043111150
0.79	0.0043200724	0.0043219576	0.0041931188	0.0042956239	0.0043818026	0.0042876227
0.61	0.0043141085	0.0043286927	0.0041614777	0.0042880593	0.0042243444	0.0042521661

5. Pengaruh L/G terhadap Mev

L/G	Mev 35	Mev 38	Mev 41	Mev 44	Mev 47	Mev 50
4.81696348	0.00478957	0.00460885	0.00465056	0.00471212	0.00499839	0.00498052
2.56648740	0.00453310	0.00453372	0.00454753	0.00459538	0.00483166	0.00483443
1.84191094	0.00450018	0.00450857	0.00442044	0.00452914	0.00478327	0.00473426
1.18030868	0.00445450	0.00444366	0.00436483	0.00449036	0.00471546	0.00461614
0.78883155	0.00441595	0.00441882	0.00431781	0.00442677	0.00458524	0.00449233
0.60638532	0.00439113	0.00441784	0.00426160	0.00439491	0.00433446	0.00440981

6. Pengaruh L/G terhadap Q

L/G	Q 35	Q 38	Q 41	Q 44	Q 47	Q 50
4.82	52.60	42.00	55.60	53.40	82.80	92.90
2.57	29.20	32.50	43.70	40.70	30.90	30.90
1.84	24.40	26.70	38.60	35.00	30.50	30.50
1.18	18.70	18.60	29.10	28.40	29.90	29.90
0.79	13.80	15.20	22.10	21.70	30.00	30.00
0.61	10.60	13.80	18.00	17.60	29.20	29.20

Hasil Pengukuran *Flow* air 5 Liter

1. Pengaruh L/G terhadap Range

L/G	Range 35	Range 38	Range 41	Range 44	Range 47	Range 50
5.23577	1.90138	2.1539	2.322850	2.13839	3.53894	4.68046
3.12027	2.552110	2.75413	3.24589	2.96179	4.38353	3.99317
2.2495	3.10349	3.38307	3.635550	3.62601	5.3056	4.92881
1.39606	3.94647	4.15266	4.607110	4.72872	6.48161	6.71147
0.92811	4.63693	4.43417	5.61775	5.10872	7.53197	7.764450
0.72363	4.81706	4.3922	5.50757	5.22532	7.36697	8.77014

2. Pengaruh L/G terhadap *Approach*

L/G	App 35	App 38	App 41	App 44	App 47	App 50
5.23577	10.3969	10.1836	15.0245	14.9708	17.53940	20.6596
3.12027	11.6528	11.7442	14.4812	14.1135	16.0273	21.5146
2.2495	9.75037	10.1262	12.2741	12.46940	14.923	19.6523
1.39606	8.02936	9.7644	11.4996	11.6124	12.4349	17.4596
0.92811	7.6644	9.12472	10.1652	10.1666	11.3933	15.4971
0.72363	7.42683	8.665000	9.63573	9.58339	11.1629	13.9643

3. Pengaruh L/G terhadap Efektivitas

L/G	Efek 35	Efek 38	Efek 41	Efek 44	Efek 47	Efek 50
5.23577	0.1546	0.17458	0.1339	0.12498	0.16789	0.18471
3.12027	0.17966	0.18996	0.1831	0.17345	0.21477	0.15655
2.2495	0.24144	0.25043	0.22851	0.22528	0.26228	0.20051
1.39606	0.32954	0.29839	0.28604	0.28937	0.34264	0.27767
0.92811	0.37695	0.32703	0.35594	0.33444	0.39798	0.33379
0.72363	0.39343	0.33638	0.3637	0.35285	0.39757	0.38577

4. Pengaruh L/G terhadap Me

L/G	Me 35	Me 38	Me 41	Me 44	Me 47	Me 50
5.23577	0.03828	0.042080	0.04606	0.04309	0.07629	0.10636
3.12027	0.04796	0.05255	0.06215	0.05781	0.08922	0.08152
2.2495	0.05914	0.06459	0.06976	0.07102	0.10567	0.098230
1.39606	0.07549	0.07701	0.085600	0.08918	0.12508	0.13086
0.92811	0.08642	0.08086	0.103960	0.0945	0.14145	0.14743
0.72363	0.0887	0.07953	0.09909	0.09558	0.13589	0.16334

5. Pengaruh L/G terhadap Mev

L/G	Mev 35	Mev 38	Mev 41	Mev 44	Mev 47	Mev 50
5.23577	0.00034	0.00032	0.00035	0.00037	0.00056	0.00063
3.12027	0.0004	0.00044	0.000570	0.000550	0.00071	0.00097
2.2495	0.0004	0.00051	0.000660	0.00067	0.00089	0.00105
1.39606	0.00074	0.00067	0.00087	0.00095	0.00099	0.00149
0.92811	0.00105	0.00088	0.00106	0.00116	0.00149	0.00172
0.72363	0.001060	0.001120	0.00117	0.0012	0.00126	0.00127

6. Pengaruh L/G terhadap Q

L/G	Q 35	Q 38	Q 41	Q 44	Q 47	Q 50
5.23577	765.600	828.24	901.320	875.50	1346.4	1698.3
3.12027	765.600	1119.4	901.320	1223.8	1679.1	2085.1
2.2495	765.600	1320.2	901.320	1500.6	2029.5	2546.1
1.39606	1538.13	1622.5	1875.61	1939.2	2387.2	3456.0
0.92811	1789.32	1731.6	2241.46	2092.8	2764.8	4051.2
0.72363	1900.00	1725.0	2225.00	2175.0	2825.0	4525.0

Hasil Pengukuran *Flow* air 6 Liter

1. Pengaruh L/G terhadap *Range*

L/G	Range 35	Range 38	Range 41	Range 44	Range 47	Range 50
6.25532	1.36151	1.77697	2.15881	2.85564	2.86601	3.18899
3.79743	1.8755	0.61096	2.84734	3.654450	3.18372	4.02812
2.64302	2.35908	2.85739	3.206330	3.654450	3.80904	4.81528
1.66313	2.87431	3.83298	4.45298	6.57596	4.86688	5.9844
1.16613	3.68725	4.019220	4.92624	6.53372	5.25404	6.6028
0.88667	3.2483	3.99404	4.046330	6.75821	5.19917	6.24335

2. Pengaruh L/G terhadap *Approach*

L/G	App 35	App 38	App 41	App 44	App 47	App 50
6.25532	8.82211	10.9553	14.8558	15.3215	18.4123	21.5182
3.79743	7.87326	14.0166	14.1513	15.1697	16.8701	20.1264
2.64302	7.31711	10.7605	12.9886	14.198	15.5143	18.7448
1.66313	6.8017	9.6444	11.6122	12.7972	12.9765	15.5783
1.16613	7.1183	9.2094	9.61674	10.3322	11.2507	13.7407
0.88667	6.31546	9.18335	8.90073	9.38133	11.3605	12.837

3. Pengaruh L/G terhadap Efektivitas

L/G	Efek 35	Efek 38	Efek 41	Efek 44	Efek 47	Efek 50
6.25532	0.1337	0.13956	0.12688	0.1571	0.13469	0.12907
3.79743	0.19238	0.04177	0.1675	0.19414	0.15876	0.16676
2.64302	0.2438	0.20983	0.19798	0.23858	0.19712	0.20438
1.66313	0.29706	0.2844	0.27718	0.33944	0.27276	0.27753
1.16613	0.34124	0.30383	0.33874	0.38739	0.31834	0.32457
0.88667	0.33965	0.3031	0.31253	0.41874	0.31397	0.32721

4. Pengaruh L/G terhadap Me

L/G	Me 35	Me 38	Me 41	Me 44	Me 47	Me 50
6.25532	0.02664	0.035110	0.04334	0.06515	0.06037	0.069
3.79743	0.03653	0.01079	0.05516	0.05968	0.062720	0.08098
2.64302	0.04548	0.0533	0.0612	0.09077	0.0743	0.09413
1.66313	0.05425	0.07032	0.08397	0.13259	0.093240	0.11498
1.16613	0.06943	0.07205	0.09208	0.12654	0.09793	0.124
0.88667	0.05998	0.07088	0.07529	0.12835	0.09551	0.11509

5. Pengaruh L/G terhadap Mev

L/G	Mev 35	Mev 38	Mev 41	Mev 44	Mev 47	Mev 50
6.25532	0.00032	0.000290	0.00035	0.00033	0.00054	0.0007
3.79743	0.00031	0.00043	0.00051	0.000710	0.00083	0.00085
2.64302	0.00046	0.00056	0.0006	0.00066	0.00087	0.00107
1.66313	0.00073	0.00066	0.00085	0.00077	0.00105	0.00141
1.16613	0.00193	0.00074	0.00114	0.001390	0.001220	0.001670
0.88667	0.00087	0.000830	0.00106	0.00113	0.0013	0.00184

6. Pengaruh L/G terhadap Q

L/G	Q 35	Q 38	Q 41	Q 44	Q 47	Q 50
6.25532	633.36	783.000	948.300	1513.0	1261.4	1502.80
3.79743	901.90	278.400	1261.50	1867.6	1481.9	1887.90
2.64302	1470.1	1271.00	1261.50	2279.6	1828.6	2283.70
1.66313	1362.9	1667.93	1985.94	3366.4	2240.0	2739.20
1.16613	1779.7	1741.22	2231.84	3254.4	2428.8	3091.20
0.88667	1537.5	1737.50	1900.00	3337.5	2512.5	2850.00

Hasil Pengukuran *Flow* air 7 Liter

1. Pengaruh L/G terhadap *Range*

L/G	Range 35	Range 38	R 41	Range 44	Range 47	Range 50
7.17811	1.19784	1.74243	1.68041	1.9878	1.972110	2.65748
4.2989	1.61683	2.14693	2.15083	2.67468	2.8956	3.0928
3.04322	2.01835	2.57275	2.502890	2.938670	3.404450	3.56229
1.91725	2.70124	3.25275	3.24032	3.84174	4.16188	4.76321
1.29337	3.06408	3.24193	3.90523	4.39729	4.83702	5.28326
0.9956	2.520550	2.80032	3.68835	3.88601	4.60725	4.88583

2. Pengaruh L/G terhadap *Approach*

L/G	App 35	App 38	App 41	App 44	App 47	App 50
7.17811	9.38904	13.4148	13.261	17.248	18.80830	20.4067
4.2989	7.60537	12.332	12.2174	15.8485	17.0593	18.04720
3.04322	7.72495	11.6168	11.3768	14.81560	16.0896	16.0466
1.91725	5.86482	10.0708	10.7001	13.3787	13.38390	15.0716
1.29337	5.57399	9.27546	9.04628	11.1919	12.4395	15.8972
0.9956	5.622110	8.75752	8.32018	10.0049	11.92500	14.5212

3. Pengaruh L/G terhadap Efektivitas

L/G	Efek 35	Efek 38	Efek 41	Efek 44	Efek 47	Efek 50
7.17811	0.11314	0.11496	0.11247	0.10334	0.0949	0.11522
4.2989	0.175320	0.14828	0.14969	0.1444	0.14511	0.1463
3.04322	0.20715	0.18131	0.18033	0.16552	0.17464	0.18167
1.91725	0.31534	0.24414	0.232440	0.22309	0.2372	0.24014
1.29337	0.35472	0.25899	0.30153	0.28207	0.27998	0.24944
0.9956	0.30955	0.24229	0.30714	0.27975	0.27868	0.25176

4. Pengaruh terhadap Me

L/G	Me 35	Me 38	Me 41	Me 44	Me 47	Me 50
7.17811	0.02334	0.03484	0.03356	0.0403	0.04012	0.05725
4.2989	0.031	0.041520	0.04203	0.05316	0.05771	0.061670
3.04322	0.03848	0.04896	0.048080	0.0567	0.06661	0.07011
1.91725	0.05219	0.06074	0.06135	0.07279	0.07913	0.09099
1.29337	0.05835	0.05925	0.07328	0.08234	0.09058	0.094760
0.9956	0.04639	0.05053	0.06805	0.07181	0.08545	0.087

5. Pengaruh terhadap Mev

L/G	Mev 35	Mev 38	Mev 41	Mev 44	Mev 47	Mev 50
7.17811	0.00023	0.00036	0.00034	0.00039	0.0005	0.00057
4.2989	0.00037	0.00044	0.00052	0.00032	0.00068	0.0007
3.04322	0.00045	0.00057	0.00059	0.00098	0.00077	0.00082
1.91725	0.00046	0.0007	0.00083	0.0009	0.00081	0.0011
1.29337	0.00065	0.00072	0.00099	0.00154	0.00169	0.00165
0.9956	0.00066	0.00095	0.00112	0.00109	0.00121	0.00215

6. Pengaruh terhadap Q

L/G	Q 35	Q 38	Q 41	Q 44	Q 47	Q 50
7.178	633.360	927.420	861.300	1052.300	1043.800	1414.400
4.299	875.800	1157.100	1148.400	1432.600	1534.100	1667.500
3.043	1066.000	1410.400	1307.900	1586.700	1787.600	1853.200
1.917	1473.230	1726.340	1700.380	2054.400	2188.800	2457.600
1.293	1645.020	1693.120	2000.960	2380.800	2611.200	2774.400
0.996	1375.000	1525.000	1925.000	2087.500	2537.500	2598.750



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA FAKULTAS TEKNIK

UMSU Akreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 1913/SK/BAN-PT/Ak.KP/PT/XI/2022

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<https://fatek.umsu.ac.id>

fatek@umsu.ac.id

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

[umsu.ac.id](#)

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor : 1336/IL.3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 27 Agustus 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : M RIVAL RIVANSYAH
Npm : 2007230070
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VII (TUJUH)
Judul Tugas Akhir : ANALISA EKSPERIMEN KINERJA HYBRID WET COOLING TOWER

Pembimbing : KHAIRUL UMURANI, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik Mesin
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 22 Safar 1446 H
27 Agustus 2024 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



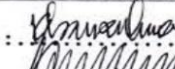
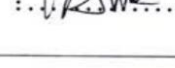
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

Peserta seminar

Nama : M. Rival Rivansyah

NPM : 2007230070

Judul Tugas Akhir : Analisa Eksperimen Kinerja Hybrid Wet Cooling Tower

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	:	Khairul Umurani, ST, MT	..  ..
Pembimbing – II	:	Ir. Arfis Amiruddin, M.Si	..  ..
Pembimbing – III	:	Dr. Sudirman Lubis, ST, MT	..  ..
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230161	Atif Juantoro	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 28 Safar 1446 H
02 September 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : M. Rival Rivansyah
NPM : 2007230070
Judul Tugas Akhir : Analisa Eksperimen Kinerja Hybrid Wet Cooling Tower

Dosen Pembanding – I : Ir. Arfis Amiruddin, M.Si
Dosen Pembanding – II : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Disas permen dan kawat
 - Kapasitas belan korgi
 - Koneksi pampokan
 - Dikemas prototipe alat
 - Dikawat
 - Perbaikan dalam finishing dan prototipe
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

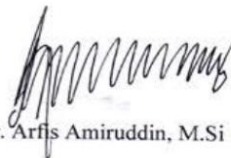
Medan, 28 Safar 1446 H
02 September 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT



Ir. Arfis Amiruddin, M.Si

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : M. Rival Rivansyah
NPM : 2007230070
Judul Tugas Akhir : Analisa Eksperimen Kinerja Hybrid Wet Cooling Tower

Dosen Pembimbing – I : Ir. Arfis Amiruddin, M.Si
Dosen Pembimbing – II : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Tambah data p. sumba .
 - Perbaiki grafik
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

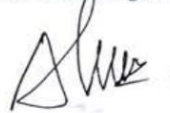
Medan 28 Safar 1446 H
02 September 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembimbing- II



Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : ANALISA EKSPERIMEN KINERJA *HYBRID WET COOLING TOWER*
 Nama : M.Rival Rivansyah
 NPM : 2007230070
 Dosen Pembimbing : Khairul umurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
-		Torkami Spesifikasi	U
-		Popatir Pordumeto	U
-		Popatir Tigran Pordumeto	U
-		Popatir Tigran Pordumeto	U
-		Popatir Pordumeto	U
-		Popatir Pordumeto	U
-		Popatir Pordumeto	U
-		Popatir Pordumeto	U
-		Acc, Semangat hasil	U
-		Acc, Sazung	U

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: Muhammad Rival Rivansyah
Alamat	: Dusun 3 Sei Buluh
Jenis Kelamin	: Laki - Laki
Umur	: 22 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Tempat dan Tanggal Lahir	: RAMPAH KIRI, 12 Desember 2002
Tinggi dan Berat Badan	: 175 Cm / 90 Kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
No. Telp	: +62 823-6092-3851

B. ORANG TUA

Nama Ayah	: Zainal Rasyid
Agama	: Islam
Nama Ibu	: Zainab
Agama	: Islam
Alamat	: Dusun 3 Sei Buluh

C. LATAR BELAKANG PENDIDIKAN

2008 – 2014	: SD Al-Ittihadiyah
2014 – 2017	: SMP Negeri 3 Sei Bamban
2017 – 2020	: SMK Negeri 1 Sei Rampah
2020 – 2024	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

