

TUGAS AKHIR

PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA (L/G) PADA KINERJA *WCT* (*WET COOLING TOWER*) MENGGUNAKAN *PERFORATED SPLASH FILL*

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD HAEKAL
2007230001



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024**

Pesan sang ayah,
Anakku,
Ku ingin melihatmu bahagia
Tuk itu
Tuntutlah ilmu
Railah cita-citamu,
Tunaikan sholat lima waktu,
Jadilah orang yang berguna,
Dan
Lindungilah keluargamu.
Anakku
Perlu kau ingat satu hal,
Bahwa ketika kau lahir kedunia
Semua orang tersenyum menyambutmu,
Dan,
Hanya engkau yang menangis
Tuk itu berbuat kebajikanlah engkau
Agar ketika kau tiada,
Semua orang berduka kehilanganmu
Dan,
Hanya engkau yang tersenyum
Menghadap sang Illahi Robbi

(Ir. Muhammad Jamil)

Kupersembahkan untuk,
Ayah dan Bundaku tersayang
Serta adikku tercinta.

SI SULUNG

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Muhammad Haekal
NPM : 2007230001
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA
(L/G) PADA KINERJA *WCT (WET COOLING TOWER)*
MENGUNAKAN *PERFORATED SPLASH FILL*
Bidang Ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 27 Agustus 2024

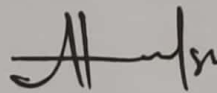
Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Penguji I



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Penguji II



Arya Rudi Nasution, ST, MT

Dosen penguji III



Khairul Umurani, ST, MT

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Haekal
Tempat /Tanggal Lahir : Medan,29 Agustus 2002
NPM : 2007230001
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA (L/G) PADA KINERJA WCT (WET COOLING TOWER) MENGGUNAKAN PERFORATED SPLASH FILL”.

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 orisinal 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/kesarjanaan 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, 27 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,



Haekal
Muhammad Haekal

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengukur Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Slash Fill* Terhadap Range, Approach, Efektifitas, Q, Me, Dan Mev. Cooling tower (menara pendingin) didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah udara dan air yang berfungsi mendinginkan air dengan udara sehingga menguapkan sebagian kecil dari air tersebut. Rasio *Liquid / Gas (L/G)*, dari menara pendingin adalah rasio antara air dan laju aliran massa udara. Terhadap nilai desain, variasi musiman membutuhkan penyesuaian dan penyetelan laju aliran air dan udara untuk mendapatkan pendinginan terbaik efektifitas menara. Penghilangan panas dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara di sekitarnya. Rasio *Liquid / Gas (L/G)*, dari menara pendingin adalah rasio antara air dan laju aliran massa udara. Persiapan alat dan bahan. Sekat dipasang dengan sudut fill tertentu. Pemanas air heater dan blower dihidupkan. Pompa dihidupkan, katup dibuka untuk pengaturan debit sesuai keinginan. Pengukuran-pengukuran suhu setiap menit selama 5 menit. Hasil pengukuran digunakan untuk menghitung nilai rata-rata. Mengulangi percobaan untuk variasi yang lain. Hasil dari Mengukur Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Slash Fill* Terhadap Range, Approach, Efektifitas, Q, Me, Dan Mev. Didapat grafik yang tertinggi ditunjukkan pada nilai Q 3400°C dan L/G 0,71kg/s. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada nilai Mev 0,001°C dan L/G 0,71kg/s. Rasio Air/Udara (L/G), dari menara pendingin adalah rasio antara air dan laju aliran massa udara. Dari grafik suhu air masuk diatas rata-rata suhu 50°C lebih tinggi dari pada suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik suhu air masuk yang terendah ditunjukkan pada suhu 35°C.

Kata kunci : Rasio L/G , suhu, massa udara.

ABSTRAK

The purpose of this research is to Measure the Effect of Water / Air Flow Rate Ratio (L / G) on WCT (Wet Cooling Tower) Performance Using Perforated Slash Fill Against Range, Approach, Effectiveness, Q, Me, And Mev. Cooling tower is defined as a heat exchanger whose working fluid is air and water which functions to cool water with air so that it evaporates a small portion of the water. The Liquid/Gas (L/G) ratio, of a cooling tower is the ratio between water and air mass flow rates. Against the design value, seasonal variations require adjustment and tuning of water and air flow rates to get the best cooling effectiveness of the tower. The heat removal from the water must be equal to the heat absorbed by the surrounding air. Liquid/Gas (L/G) ratio, of the cooling tower is the ratio between water and air mass flow rates. Preparation of tools and materials. Bulkheads are installed with a certain fill angle. Water heaters and blowers are turned on. The pump is turned on, the valve is opened to adjust the discharge as desired. Temperature measurements are taken every minute for 5 minutes. The measurement results are used to calculate the average value. Repeating the experiment for other variations. The results of measuring the effect of water / air flow rate ratio (L / G) on the performance of WCT (Wet Cooling Tower) using perforated slash fill against range, approach, effectiveness, Q, Me, and Mev. The highest graph is shown at a Q value of 3400oC and L / G 0.71kg / s. Meanwhile, the lowest graph is shown at a value of Me, Me, and Mev. While the lowest graph is shown at Mev 0.001oC and L/G 0.71kg/s. The Water/Air Ratio (L/G), of the cooling tower is the ratio between water and air mass flow rates. From the graph of the inlet water temperature above, the average temperature of 50°C is higher than the inlet water temperature of 47°C,44°C,41°C,38°C. While the lowest inlet water temperature graph is shown at 35°C.

Keywords: L/G ratio, temperature, air mass.

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 **“PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA (*L/G*) PADA KINERJA *WCT (WET COOLING TOWER) MENGGUNAKAN *PERFORATED SPLASH FILL*”*** sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

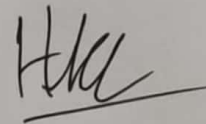
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin dan sekaligus dosen penguji I dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T selaku dosen penguji II.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
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. Sahabat-sahabat penulis: Librajib Alnabawi, Pitrian Doli Sahbana Hasibuan, Muhammad Fakhri Pardosi, Muhammad Farhan MS, Imam Natawijaya, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.
9. Teman-teman mahasiswa Teknik mesin yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang namanya tidak bisa penulis sebut satu persatu.

Tugas Akhir inientunya masih jauh dari lesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 27 Agustus 2024



Muhammad Haekal

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN		i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR		ii
ABSTRAK		iii
<i>ABSTRAK</i>		iv
KATA PENGANTAR		v
DAFTAR ISI		vii
DAFTAR GAMBAR		ix
DAFTAR NOTASI		x
DAFTAR TABEL		xi
BAB 1	PENDAHULUAN	1
	1.1 Latar Belakang	1
	1.2 Rumusan Masalah	3
	1.3 Ruang Lingkup	3
	1.4 Tujuan	4
	1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2	TINJAUAN PUSTAKA	5
	2.1 <i>Cooling Tower</i>	5
	2.2 Fungsi <i>Cooling Tower</i>	5
	2.3 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i>	5
	2.4 Definisi <i>Cooling Tower</i>	5
	2.5 Jenis-Jenis <i>Cooling Tower</i>	6
	2.5.1 <i>Cooling Tower Crossflow</i>	7
	2.5.2 <i>Cooling Tower Counterflow</i>	8
	2.6 Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G)	9
	2.6.1 Pengaruh Terhadap <i>Range</i>	10
	2.6.2 Pengaruh Terhadap <i>Efektifitas</i>	10
	2.6.3 Laju kehilangan penguapan air (Mev)	10
	2.6.4 <i>Approach</i>	10
	2.6.5 Kalor yang dilepaskan air panas	11
	2.6.6 Klasifikasi <i>Cooling Tower</i>	11
	2.7 <i>Avaibility rate</i>	15
	2.8 Rasio Perforasi Pada <i>Cooling Tower</i>	15
	2.8.1 <i>Perforated Splash Fill</i>	15
BAB 3	METODE PENELITIAN	16
	3.1 Tempat dan Waktu	16
	3.1.1 Tempat Penelitian	16
	3.1.2 Waktu dan Tahapan Penelitian	16
	3.2 Alat dan Bahan	17

3.3	Bagan Alir Penelitian	21
3.4	Peralatan Penelitian	22
3.5	Prosedur Penelitian	22
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Pengaruh <i>L/G</i> pada kinerja cooling tower	23
4.1.1	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Range</i>	23
4.1.2	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Approach</i>	24
4.1.3	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Efektifitas</i>	25
4.1.4	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Q</i>	26
4.1.5	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Me</i>	28
4.1.6	Grafik pengaruh <i>L/G</i> terhadap <i>Mev</i>	29
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1	Kesimpulan	31
5.2	Saran	31
	DAFTAR PUSTAKA	32
	LAMPIRAN	34
	LEMBAR ASISTENSI	
	SK PEMBIMBING	
	BERITA ACARA SEMINAR HASIL	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Cooling Tower</i> Crossflow dan Counterflow	7
Gambar 2.2 <i>Cooling Tower</i> Crossflow	8
Gambar 2.3 <i>Cooling Tower</i> Counterflow	9
Gambar 2.4 Klasifikasi <i>Cooling Tower</i> (Suhardi Putra, 2015)	12
Gambar 2.5 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i> (Suhardi Putra, 2015)	13
Gambar 3.1 <i>Cooling Tower</i>	17
Gambar 3.2 <i>Thermo Hygrometer</i>	17
Gambar 3.3 <i>Thermo Air Raksa</i>	18
Gambar 3.4 Komputer	18
Gambar 3.5 Sensor DHT11	19
Gambar 3.6 Sensor DS18B20	19
Gambar 3.7 <i>Flow Meter</i>	19
Gambar 3.8 <i>Thermostat</i> STC 1000	20
Gambar 3.9 Bagan Alir Penelitian	21
Gambar 3.10 Skema <i>Cooling Tower</i>	22
Gambar 4.1 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap <i>Range</i>	23
Gambar 4.2 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap <i>Approach</i>	24
Gambar 4.3 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap	26
Gambar 4.4 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap <i>Q</i>	27
Gambar 4.5 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap <i>Me</i>	28
Gambar 4.6 Gambar grafik <i>L/G</i> terhadap <i>Mev</i>	29

DAFTAR NOTASI

Q	=	Kalor (J)
M	=	Massa benda (kg)
C	=	kalor jenis (J/kg.K)
Δt	=	Perubahan suhu (K)
T_{wi}	=	Suhu Air Masuk
T_{wo}	=	Suhu Air Keluar
h_i	=	entalpi udara masuk h_o adalah entalpi udara keluar
h_o	=	entalpi udara keluar
m_a	=	m udara

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tahap – tahap Pelaksanaan Penelitian

16

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cooling tower atau dalam bahasa Indonesia adalah menara pendingin merupakan pendingin yang sering kiata jumpai di pabrik-pabrik besar seperti pabrik kelapa sawit. Fungsi dari *cooling tower* ini sebagi alat yang mampu mendinginkan air panas dari kondensor menggunakan cara kontak langsung dengan udara secara paksa menggunakan kipas. 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.

WCT Menara pendingin basah memiliki sistem penyalur air panas yang disemprotkan secara merata ke kisi-kisi, lubang-lubang pada sisi lubang lubang horizontal menara yang disebut isian. Udara masuk dari luar menara melalui kisi-kisi yang berbentuk celah-celah *horizontal* yang terpancang pada sisi menara, celah ini biasanya mengarah miring kebawah supaya air tidak keluar. (Irawan, 2022)

Cooling tower (menara pendingin) didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang *fluida* kerjanya adalah udara dan air yang berfungsi mendinginkan air dengan mengontakannya keudara sehingga menguapkan sebagian kecil dari air tersebut. Dalam kebanyakan menara pendingin yang melayani sistem refrigerasi dan penyamanan-udara, menggunakan satu atau lebih kipas propeler untuk menggerakkan udara secara vertikal keatas atau horisontal melintasi menara. (Handoyo, 2015)

Cooling tower merupakan suatu peralatanyang digunakan untuk menurunkan suhu aliran air dengancara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer.menggunakanpenguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer.Sebagai akibatnya, air yang tersisadidinginkan secara signifikan. Menara pendingin mampu menurunkan suhuair lebih dari peralatan- peralatan yang hanya menggunakan udara untukmembuang panas, seperti radiator dalam mobil, oleh karena itu biayanya lebih efektif dan efisien energinya. (Komarudin & Saputra, 2017)

Dalam dunia industri, air pendingin sangat dibutuhkan sekali sebagai media untuk melakukan pertukaran panas antara fluida yang panas dengan air pendingin (air dingin), berlangsungnya pertukaran panas tersebut terjadi di dalam suatu heat exchanger atau yang lebih spesifik disebut dengan *cooler*. Terjadi pertukaran panas perubahan temperatur, dimana temperatur air pendingin menjadi naik karena disebabkan oleh panas yang dibawa oleh suatu fluida yang panas diserap oleh air. (Laksanawati et al., 2022)

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 dihembuskan. Air panas dialirkan dalam butiran-butiran kecil melalui sekat-sekat pengisi. Air dialirkan dari bagian atas menara sedangkan udara dihembuskan dari bagian bawah. (Ardani et al., 2018)

Nilai rasio air dan udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu *cooling tower*. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak diinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh kipas. Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka nilai rasio semakin kecil. Data hasil perhitungan rasio air dan udara rata-rata dari semua variasi. Penurunan nilai rasio juga terjadi karena adanya perubahan kecepatan udara yang terjadi pada *cooling tower*. Kecepatan kipas sangat berpengaruh terhadap nilai rasio karena semakin cepat putaran kipas, maka nilai rasio semakin kecil. Pengaruh turunya rasio ini dikarenakan semakin cepat udara yang masuk ke dalam *cooling tower*,

sedangkan volume air yang masuk relatif tetap maka menyebabkan nilai rasio akan semakin kecil atau menurun. Nilai rasio tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 0,0145 yang diperoleh dari variasi kecepatan udara 4 m/s. Nilai rasio terendah terjadi pada variasi kecepatan udara 8 m/s yaitu sebesar 0,0072. Dalam hal ini bahan pengisi pada *cooling tower* tidak memiliki pengaruh terhadap nilai rasio perbandingan antara air dengan udara yang masuk. Sehingga nilai rasio air dengan udara yang didapatkan dari cooling tower tanpa menggunakan bahan pengisi dengan menggunakan bahan pengisi mendapatkan nilai yang sama. Karena bahan pengisi dalam *cooling tower* berfungsi untuk memperlama kontak antara air dengan udara. (Pratama et al., 2021)

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 **“PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA (L/G) PADA KINERJA WCT (WET COOLING TOWER) MENGGUNAKAN PERFORATED SPLASH FILL”**.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan judul tugas akhir ini maka perumusan masalah yang diperoleh dalam tugas sarjana ini adalah bagaimana Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*) Menggunakan *Perforated Slash Fill*.

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. Kenaikan suhu air setiap satu kali percobaan yaitu 3°C, dimulai dari suhu 35°C, 38°C, 41°C, 44°C, 47°C, sampai dengan 50°C.
3. Kenaikan suhu udara setiap satu kali percobaan dimulai dari 5Hz, 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, sampai dengan 50Hz.
4. Kenaikan laju aliran air setiap satu kali percobaan dimulai dari 5m/s, 7m/s, 9m/s, 11m/s, 13m/s, sampai dengan 15m/s.

1.4 Tujuan

Untuk Mengukur Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Slash Fill* Terhadap *Range, Approach, Efektifitas, Q, Me, Dan Mev.*

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan referensi bagi penelitian selanjutnya terutama yang berkaitan Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Slash Fill*.
2. Untuk mengembangkan ide Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Slash Fill* dengan baik dan benar, sehingga menjadi bahan pembelajaran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

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)

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 Prinsip 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 *noozle*. 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.)

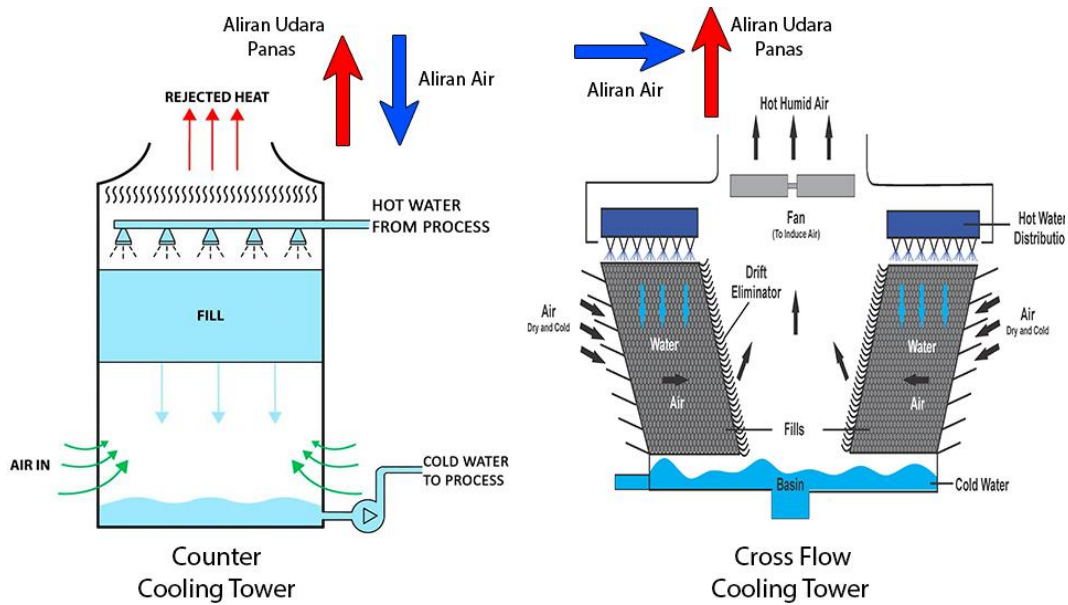
2.4 Definisi *Cooling Tower*

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*

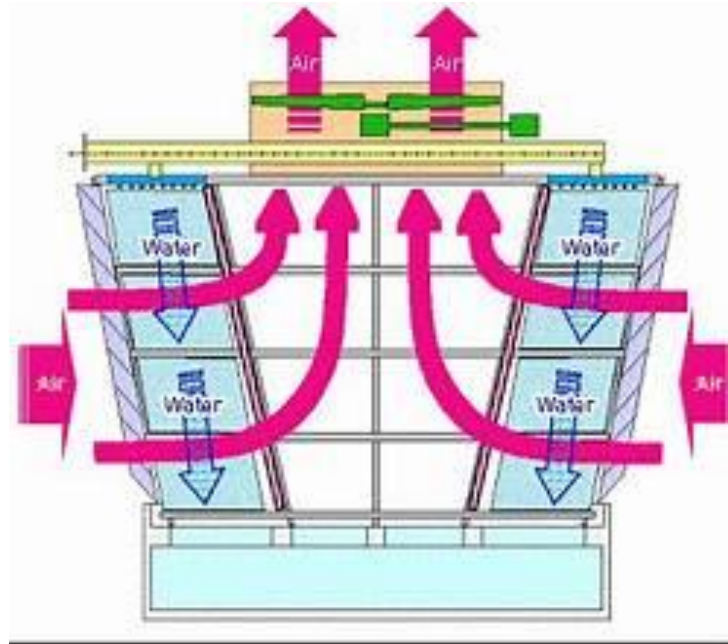
Cooling tower merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk proses pendinginan mesin produksi dan proses produksi. *Cooling tower* bekerja berdasarkan sirkulasi yang mengalirkan air dingin ke mesin produksi dengan menggunakan pompa, kemudian keluaran air dari mesin produksi akan kembali lagi ke *cooling 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 plastik-plastik yang dibentuk seperti sarang lebah dibagian dalamnya. *Cooling tower* terbagi menjadi 2 yaitu *cooling tower crossflow* dan *cooling tower counterflow* seperti pada gambar 2.1 berikut ini.



Gambar 2.1 *Cooling Tower Crossflow dan Counterflow* (Winata et al., 2013)

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.

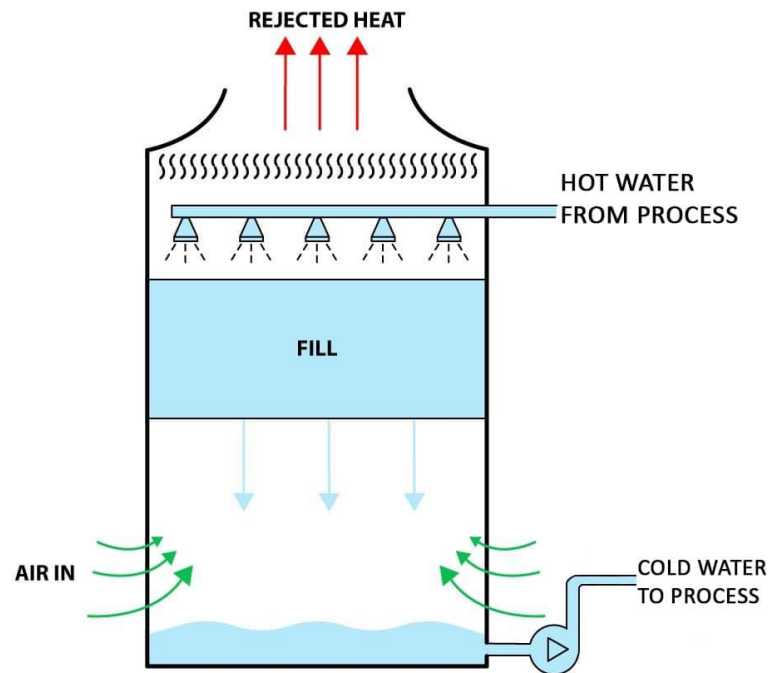


Gambar 2.2 Cooling Tower *Crossflow* (Santoso et al., 2017)

2.5.2 Cooling Tower *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 *Cooling Tower Counterflow* (Liu et al., 2017)

2.6 Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G)

Rasio Cairan / Gas (L/G), dari menara pendingin adalah rasio antara air dan laju aliran massa udara. Terhadap nilai desain, variasi musiman membutuhkan penyesuaian dan penyetelan laju aliran air dan udara untuk mendapatkan pendinginan terbaik efektivitas menara. Penghapusan panas dari air harus sama dengan panas yang diserap oleh udara di sekitarnya. (Ramkumar & Ragupathy, 2011)

Semakin besar nilai variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk cooling tower dengan bahan pengisi maka semakin naik nilai *efektivitas*, kapasitas pendingin dan nilai L/G . Perbandingan rasio air-udara semakin turun dengan bertambahnya nilai variasi suhu awal air dan kecepatan udara masuk *cooling tower*. Kalor panas yang diserap oleh udara membutuhkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi proses pendinginan yang maksimal. Proses pendinginan yang maksimal pada prakteknya tidak bisa terjadi karena dipengaruhi oleh komponen yang terpasang pada *cooling tower* seperti pipa, *fan*, *fill*, *drift eliminator*, pompa, blade, louver, dan lainnya. Cara mengatasi masalah tersebut dengan melakukan perancangan peningkatan *efektivitas cooling tower* untuk mengetahui seberapa baik operasi cooling tower tersebut sedangkan selama ini belum dilakukan pengkajian

peningkatan *efektiviatas cooling tower* dengan mode high speed. Mode high speed adalah suatu cara peningkatan efektivitas dengan menaikkan kecepatan udara dengan tujuan untuk terjadinya proses penyerapan panas yang lebih banyak. (Wuryanti, 2021)

2.6.1 Pengaruh Terhadap *Range*

Kinerja *WCT* akan dianalisis secara rinci, dan dengan demikian beberapa variabel harus diperhatikan. *Range*, seperti yang didefinisikan oleh persamaan 2 sebagai perbedaan antara suhu air masuk (T_{wi}) dan suhu air keluar (T_{wo}), adalah salah satu parameter utama yang menggambarkan kinerja wet cooling. (Umurani et al., 2023)

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{inlet}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{outlet}} (^{\circ}\text{C}) \quad (2.1)$$

2.6.2 Pengaruh Terhadap *Efektifitas*

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

$$\text{Efektivitas CT } (\%) = 100 \times \frac{\text{range}}{\text{range} + \text{approach}} \quad (2.2)$$

2.6.3 Laju kehilangan penguapan air (M_{ev})

Massa air yang menguap bersama udara harus diperiksa karena pendinginan evaporatif adalah fenomena perpindahan panas utama dalam menara pendingin; Laju penguapan air M_{ev} dapat dihitung dengan dari persamaan dimana m_a adalah laju aliran massa udara ω_o kelembaban mutlak udara keluar menara dan ω_i adalah kelembaban mutlak udara masuk menara.

$$m_{ev} = m_a (\omega_o - \omega_i) \quad (2.3)$$

2.6.4 *Approach*

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

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = T_{\text{outlet}} (^{\circ}\text{C}) - T_{\text{wb ambient}} (^{\circ}\text{C}) \quad (2.4)$$

2.6.5 Kalor yang dilepaskan air panas

Laju perpindahan panas menara pendingin ditentukan dengan mengalikan laju aliran udara dengan perbedaan entalpi udara (Δh). Laju perpindahan panas dihitung menggunakan persamaan

$$\dot{Q}h = (h_o - h_i) \quad (2.5)$$

dimana h_i adalah entalpi udara masuk, h_o adalah entalpi udara keluar.

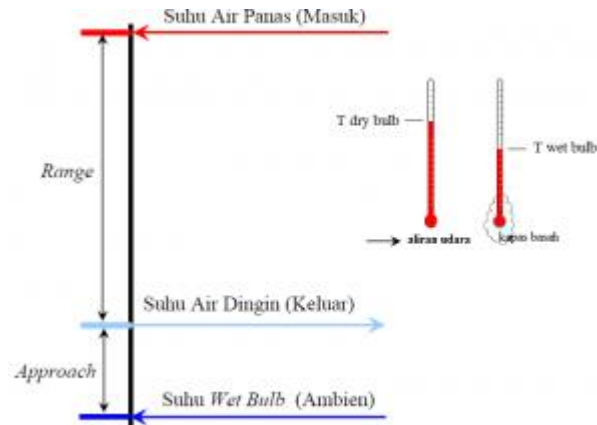
2.6.6 Klasifikasi *Cooling Tower*

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.

Karakteristik *cooling tower*, Perpindahan panas di menara pendingin melibatkan dua mekanisme perpindahan panas sensibel dan evaporatif. Pengangkutan massa uap air ke udara merupakan aspek tambahan dari perpindahan panas *evaporatif*. Merkel menjelaskan dampak gabungan dari dua mekanisme perpindahan panas ini dalam persamaan yang tercantum di bawah ini Bilangan Merkel

$$Me = \frac{KaV}{m_w} \cong \frac{T_{wi} - T_{wo}}{4} (C_{pw}) \left[\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right] \quad (2.6)$$

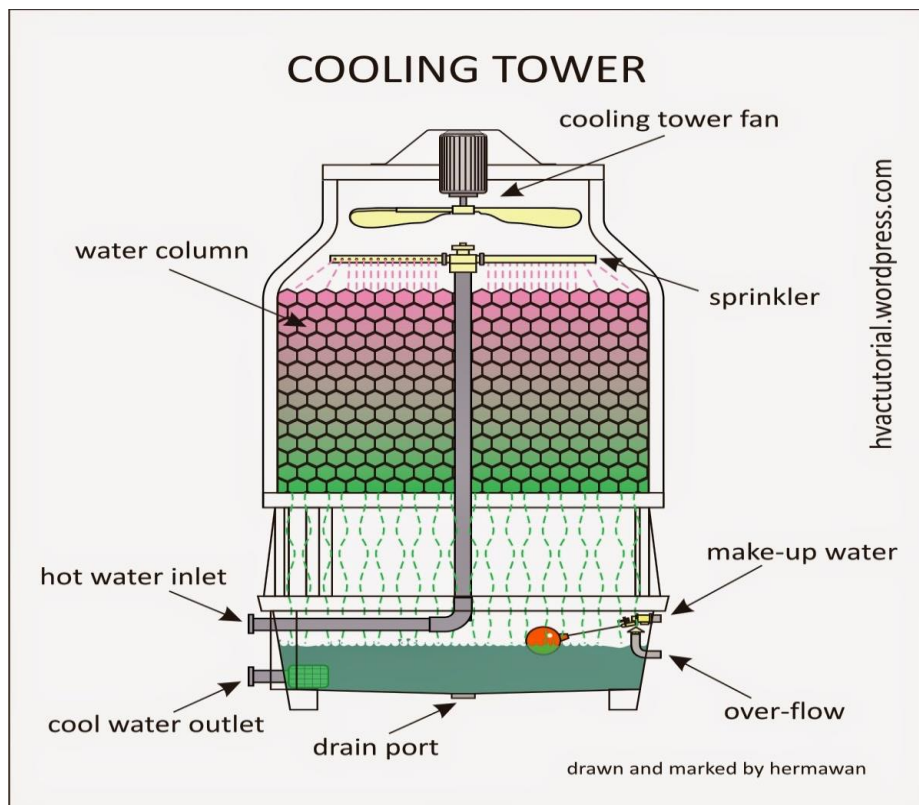
Pada kebanyakan menara pendingin yang dipakai pada sistem pendinginan udara menggunakan sistem pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal melintasi menara. Prestasi menara pendingin biasanya dinyatakan dalam range dan approach seperti Gambar 1 *Cooling tower* juga dimanfaatkan dalam upaya peningkatan 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, jumlah 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* harus kuat, ringan dan tahan lapuk. *Filling material* ini mempunyai fungsi memecah air menjadi butiran-butiran tetes air dengan maksud memperluas permukaan pendinginan sehingga proses perpindahan panas dapat dilakukan seefisiensi mungkin. (Suhardi Putra, 2015)

2.7 *Availability rate*

Availability rate merupakan suatu rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin. Hasil perhitungan terhadap mesin diperoleh presentasi *availability rate* sebesar 90,13%. *Performance Rate* merupakan suatu rasio yang menggambarkan kemampuan dari peralatan dalam menghasilkan barang atau produk, sedangkan *Rate Of Quality* adalah rasio yang menggambarkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk sesuai standar. Hasil perhitungan *Performance rate* sebesar 88,50%. Nilai Overall Equipment *Effectiveness (OEE)* pada mesin diperoleh > 86%. (Muhsin & Pratama, 2018)

2.8 Rasio Perforasi Pada *Cooling Tower*

Nilai rasio air-udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu menara pendingin, terutama dalam pemilihan kapasitas fan. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh fan minim. Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh kipas. Semakin tinggi nilai kecepatan udara maka nilai rasio semakin kecil. (Amriansyah et al., 2021)

2.8.1 *Perforated Splash Fill*

Dalam menara pendingin (*cooling tower*) sirkuit terbuka, cairan derek, udara sekitar, dan air hangat, bersentuhan langsung satu sama lain. Jenis panas dalam perangkat ini disebut "*evaporatif*" karena memungkinkan sebagian kecil air yang didinginkan menguap ke dalam aliran udara yang bergerak untuk memberikan pendinginan yang signifikan pada sisa aliran air tersebut. Air yang akan didinginkan biasanya didistribusikan melalui bahan pengemas di dalam menara. Jenis bahan pengemas yang digunakan di menara pendingin memiliki peran penting dalam menara karena menyediakan area permukaan yang sangat luas untuk perpindahan panas penguapan yang terjadi dari air panas ke udara sekitar. Hal ini menyebabkan penguapan sebagian kecil air, dengan ekstraksi panas yang sesuai dari air yang tersisa, sementara aliran udara dilembapkan dengan mengambil panas dan kelembaban. Distributor seperti *nozel* penyemprot juga memiliki efek signifikan pada faktor kinerja karena memecah aliran air menjadi partikulat kecil untuk meningkatkan area antarmuka udara air. (Mahmud et al., 2014)

BAB 3
METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Tempat dilaksanakannya pengujian data Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (*L/G*) Pada Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Splash Fill* di Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Jl. Kapten Muchtar Basri No. 03 Medan.

3.1.2 Waktu dan Tahapan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dan pengujian telah dilakukan sejak tanggal pengesahan usulan judul penelitian oleh program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Tahap – tahap Pelaksanaan Penelitian

No	Jenis kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■					
2	Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	■	■				
3	Desain cooling Tower		■	■			
4	Pengujian Data			■	■		
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 :

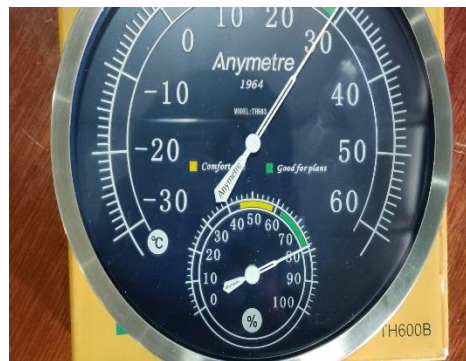
1. *Cooling Tower*



Gambar 3.1 Cooling Tower

1. *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

5. Komputer

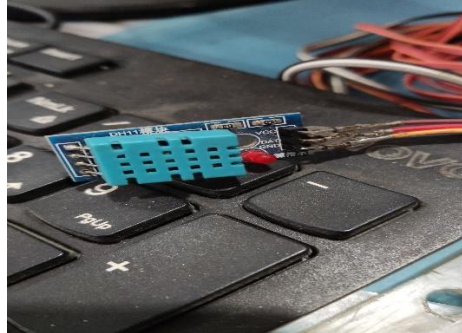
- a. Processor :Intel Core i3
- b. Ram :3GB DDR3
- c. Operasi System :Windows 7 ultimate 64-bit



Gambar 3.4 Komputer

6. Sensor DHT11

Untuk mengukur kelembapan ruangan menggunakan *arduino*



Gambar 3.5 Sensor DHT11

7. Sensor DS18B20

Digunakan untuk mengukur suhu air dengan *arduino*



Gambar 3.6 Sensor DS18B20

8. *Flow Meter*

Digunakan untuk mengukur laju aliran air



Gambar 3.7 *Flow Meter*

9. *Thermostat* STC 1000

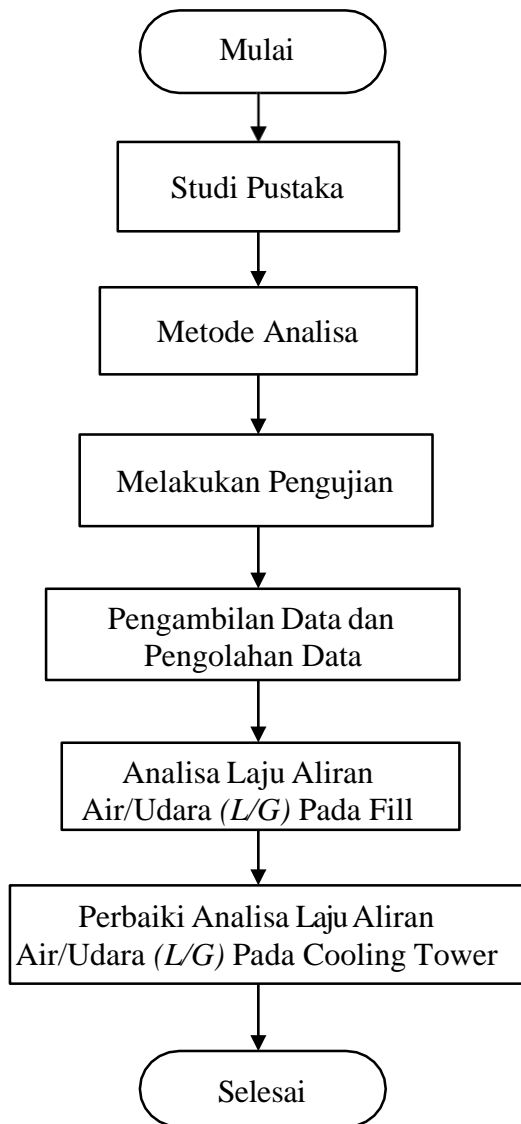
Digunakan untuk pengaturan suhu otomatis pada *Cooling Tower*



Gambar 3.8 *Thermostat* STC 1000

3.3 Bagan Alir

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

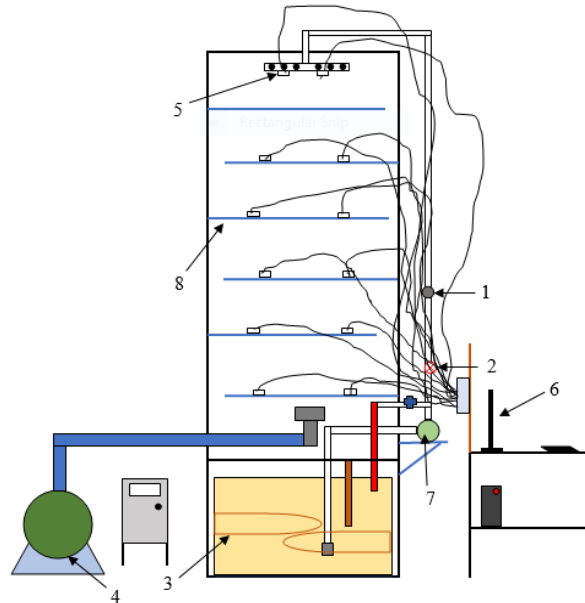


Gambar 3. 9 *Bagan alir*

3.4 Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan antara lain :

Peralatan Pengujian



Gambar 3.10 Skema Cooling Tower

1. *Water Flow* sensor, untuk mengukur laju aliran air.
2. Kran air mengatur jumlah debit yang divariasi.
3. Water Heater, untuk memanaskan air.
4. Blower untuk mengalirkan udara kedalam Menara Pendingin.
5. Sensor suhu, untuk mengukur suhu air masuk.
6. Komputer, untuk pengambilan data.
7. Pompa air, untuk mensirkulasikan air.
8. Fill berjumlah 6 tingkat, digunakan sebagai media pendingin pada *cooling tower*.

3.5 Prosedur Penelitian

1. Persiapan alat dan bahan. Sekat dipasang dengan sudut fill tertentu.
2. Pemanas air heater 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 L/G pada kinerja cooling tower dengan laju aliran 5 ltr/m

4.1.1 Grafik pengaruh L/G terhadap $Range$

Hasil dari perhitungan $Range$

- $Range$ Tertinggi :

$$Range (^{\circ}C) = Tinlet (^{\circ}C) - Toutlet (^{\circ}C)$$

$$= 48,4362844 - 40,32$$

$$= 8,12^{\circ}C$$

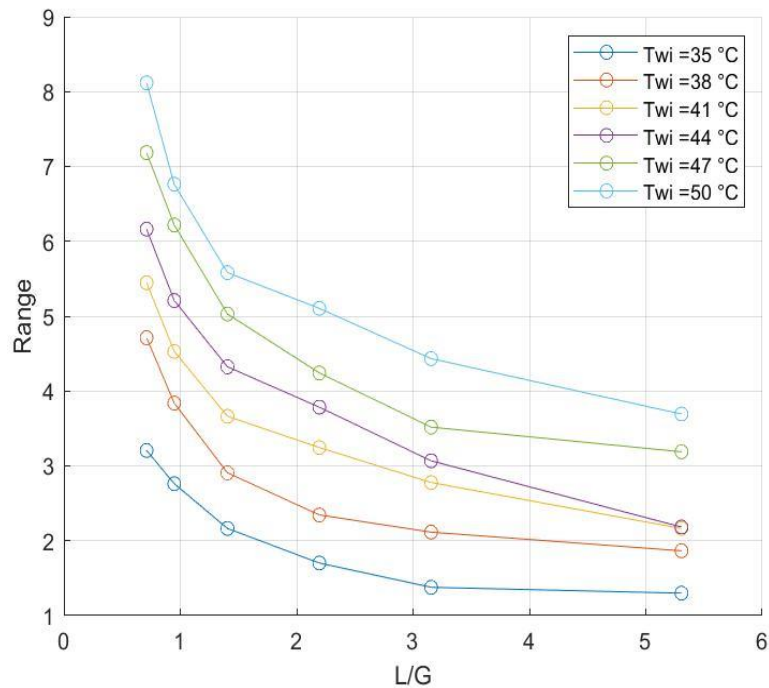
- $Range$ Terendah :

$$Range (^{\circ}C) = Tinlet (^{\circ}C) - Toutlet (^{\circ}C)$$

$$= 35,79651 - 34,50$$

$$= 1,30^{\circ}C$$

Pada gambar 4.1 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap $Range$.



4.1 Gambar grafik L/G terhadap $Range$

Gambar 4.1 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada *Range* dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu air masuk 50°C memiliki nilai *Range* 8,12°C dan L/G 0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C, *Range* 1,30 pada L/G 0,71kg/s.

4.1.2 Grafik pengaruh L/G terhadap *Approach*

Hasil dari perhitungan *Approach*

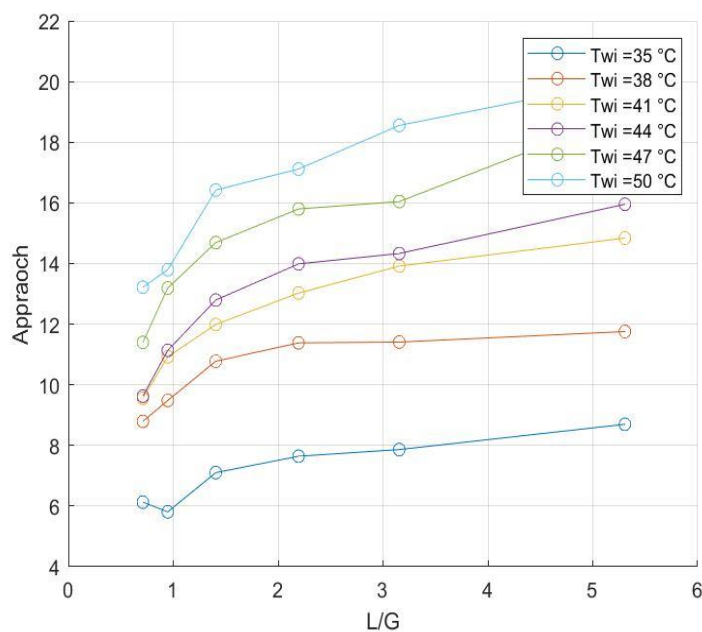
- *Approach* Tertinggi :

$$\begin{aligned} \text{Approach } (^{\circ}\text{C}) &= \text{Toutlet } (^{\circ}\text{C}) - \text{Twb ambient } (^{\circ}\text{C}) \\ &= 46,73 - 26,70 \\ &= 20,03^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

- *Approach* Terendah :

$$\begin{aligned} \text{Approach } (^{\circ}\text{C}) &= \text{Toutlet } (^{\circ}\text{C}) - \text{Twb ambient } (^{\circ}\text{C}) \\ &= 32,71 - 26,90 \\ &= 5,81^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Pada gambar 4.2 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap *Range*.



4.2 Gambar grafik L/G terhadap *Approach*

Gambar 4.2 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada *Approach* dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu 50°C memiliki nilai *Approach* 20,03°C dan L/G 0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C, *Approach* 5,81°C pada L/G 0,71kg/s.

4.1.3 Grafik pengaruh L/G terhadap *Efektifitas*

Hasil dari perhitungan *Efektifitas*

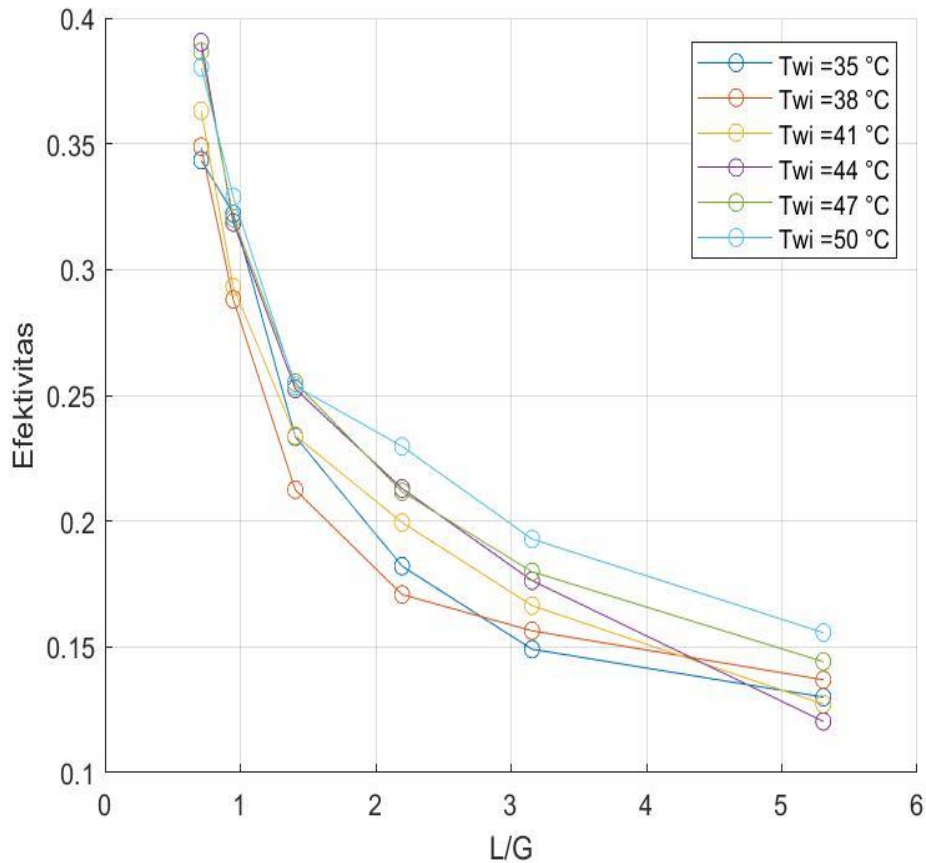
- *Efektifitas* Tertinggi :

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas CT (\%)} &= 100 \times \frac{\text{range}}{\text{range} + \text{approach}} \\ &= \frac{7,19}{(7,19+11,40)} \\ &= 0,39^\circ\text{C} \end{aligned}$$

- *Efektifitas* Terendah :

$$\begin{aligned} \text{Efektivitas CT (\%)} &= 100 \times \frac{\text{range}}{\text{range} + \text{approach}} \\ &= \frac{3,69}{(3,69 + 20,03)} \\ &= 0,16^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Pada gambar 4.3 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap *Efektifitas*.



4.3 Gambar grafik L/G terhadap *Efektifitas*

Gambar 4.3 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada *Efektifitas* dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu 44°C memiliki nilai *Efektifitas* 0,39°C dan L/G 0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 50°C, 47°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C, *Efektifitas* 0,16°C pada L/G 0,71kg/s.

4.1.4 Grafik pengaruh L/G terhadap Q

Hasil dari perhitungan Q

- Q Tertinggi :

$$\dot{Q}h = (h_o - h_i)$$

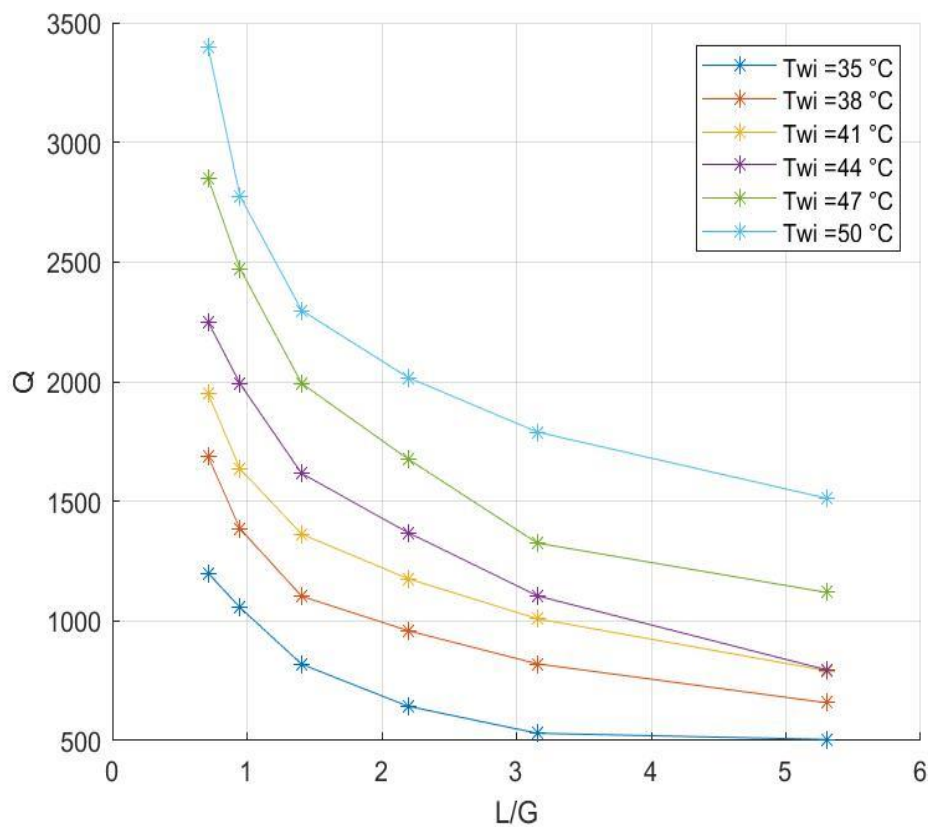
$$\begin{aligned} Q &= (\text{m udara} \times (h_2 - h_1) \times 1000 \\ &= (0,1250 \times 27,20) \times 1000 \\ &= 3400 \text{ W} \end{aligned}$$

- *Q Terendah :*

$$\dot{Q}h = (h_o - h_i)$$

$$\begin{aligned} Q &= (\text{m udara} \times (h_2 - h_1) \times 1000 \\ &= (0,0174 \times 29,00) \times 1000 \\ &= 504,6 \text{ W} \end{aligned}$$

Pada gambar 4.4 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap Q .



4.4 Gambar grafik L/G terhadap Q

Gambar 4.4 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada Q dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu 50°C memiliki nilai Q 3400 W dan L/G 0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C, Q 504,6 W pada L/G 0,71kg/s.

4.1.5 Grafik pengaruh L/G terhadap Me

Rumus perhitungan Me

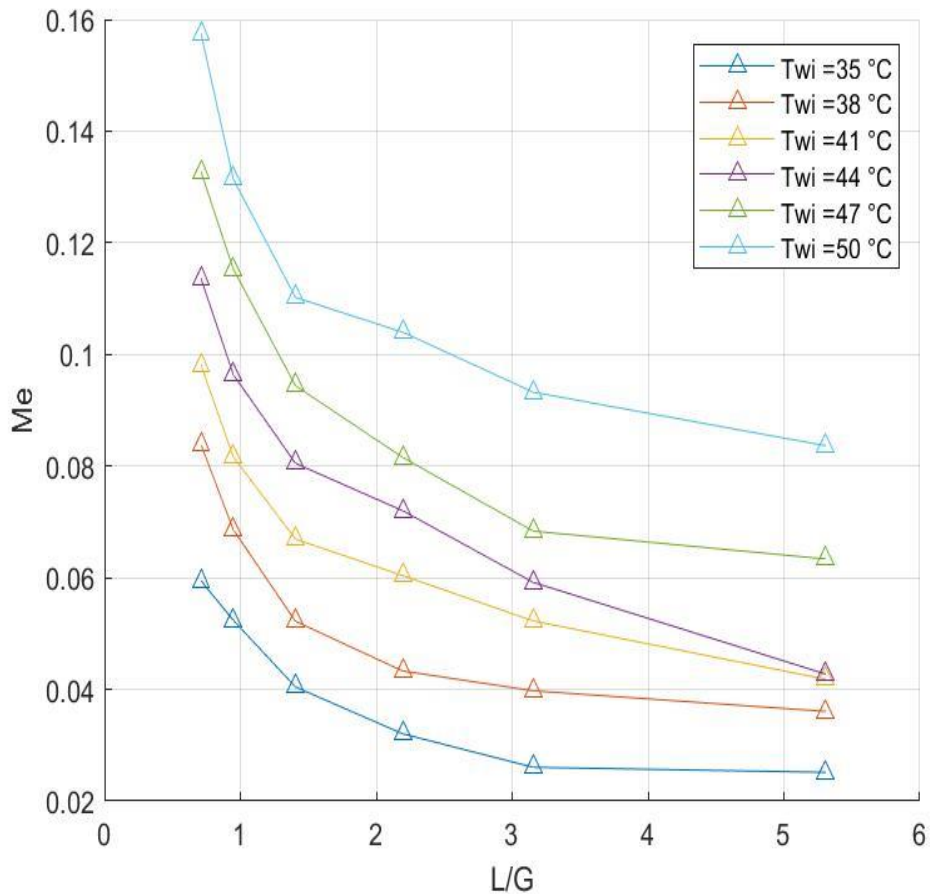
- Me Tertinggi :

$$Me = \frac{KaV}{m_w} \cong \frac{Tw_i - Tw_o}{4} (C_{pw}) \left[\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} + \right]$$

- Me Terendah :

$$Me = \frac{KaV}{m_w} \cong \frac{Tw_i - Tw_o}{4} (C_{pw}) \left[\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} + \right]$$

Pada gambar 4.5 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap Me .



4.5 Gambar grafik L/G terhadap Me

Gambar 4.5 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada Me dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu 50°C memiliki Me 0,15°C dan L/G

0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 47°C, 44°C, 41°C, 38°C. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C, Me 0,025°C pada L/G 0,71kg/s.

4.1.6 Grafik pengaruh L/G terhadap M_{ev}

Rumus perhitungan M_{ev}

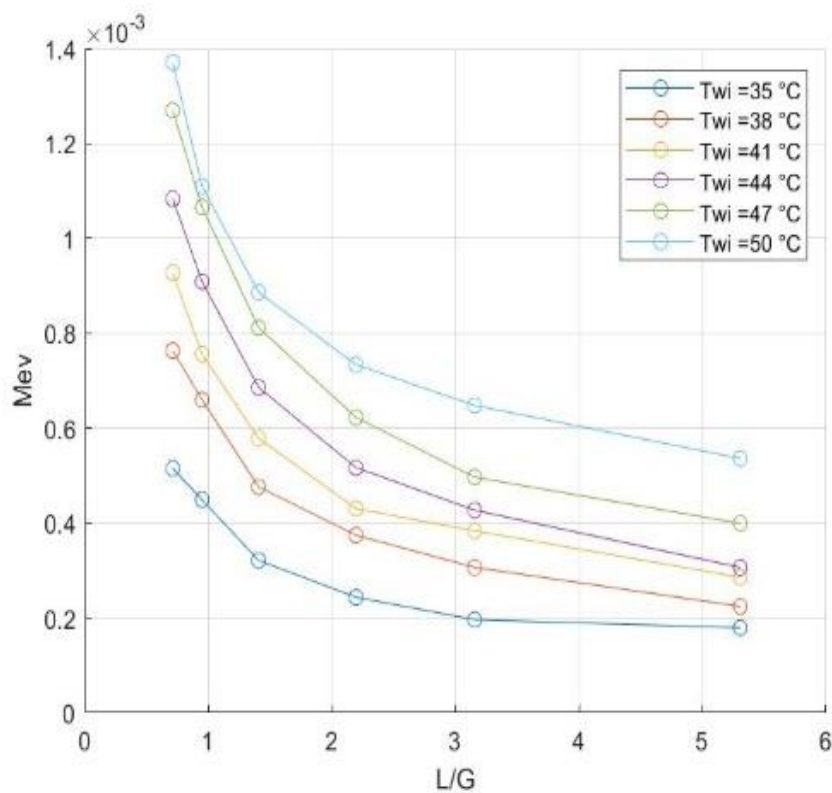
- M_{ev} Tertinggi :

$$\begin{aligned} m_{eV} &= m_a (\varpi_o - \varpi_i) \\ &= 0,0960 \times 0,0116 \\ &= 0,00111 \text{ kg/ltr} \end{aligned}$$

- M_{ev} Terendah :

$$\begin{aligned} m_{eV} &= m_a (\varpi_o - \varpi_i) \\ &= 0,0174 \times 0,0103 \\ &= 0,000179 \text{ kg/ltr} \end{aligned}$$

Pada gambar 4.6 dibawah dapat dilihat grafik dari L/G terhadap M_{ev} .



4.6 Gambar grafik L/G terhadap M_{ev}

Gambar 4.6 diatas memperlihatkan pengaruh L/G pada Mev dimana laju aliran airnya 5 ltr/m menunjukkan bahwa suhu 50°C memiliki Mev 0,001 kg/ltr dan L/G 0,71kg/s merupakan suhu paling tinggi dibandingkan suhu air masuk 47°C , 44°C , 41°C , 38°C . Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada suhu air masuk 35°C , Mev 0,0001 kg/ltr pada L/G 0,71kg/s.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pengambilan data Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (Wet Cooling Tower) ada beberapa hal yaitu:

1. Hasil dari Mengukur Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (Wet Cooling Tower) Menggunakan *Perforated Splash Fill* Terhadap *Range, Approach, Efektifitas, Q, Me, Dan Mev*. Didapat grafik yang tertinggi ditunjukkan pada nilai Q 3400°C dan L/G $0,71\text{kg/s}$. Sedangkan grafik yang terendah ditunjukkan pada nilai Mev $0,001^{\circ}\text{C}$ dan L/G $0,71\text{kg/s}$.
2. Rasio Air/Udara (L/G), dari menara pendingin adalah rasio antara air dan laju aliran massa udara.
3. Grafik pengaruh L/G pada suhu 50°C rata-rata lebih tinggi dari pada suhu air masuk $47^{\circ}\text{C}, 44^{\circ}\text{C}, 41^{\circ}\text{C}, 38^{\circ}\text{C}$. Sedangkan Grafik pengaruh L/G yang terendah ditunjukkan pada suhu 35°C .

5.2 Saran

Adapun saran yang saya sampaikan antara lain:

Untuk pengembangan yang akan datang dapat menggunakan *Fill* yang berbeda-beda. Karena di dalam Tugas Akhir ini penulis menggunakan *Fill* dengan diameter lubang 8mm . Untuk percobaan selanjutnya penulis menyarankan menggunakan *Fill* dengan diameter yang berbeda seperti : Diameter 6mm , 10mm , 12mm dan seterusnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amriansyah, A. U., Listyadi Setyawan, D., Dwi, R., & Qoryah, H. (2021). Analisis Performa Kinerja Cooling Tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi Rotan. *Jurnal STATOR*, 4(1), 2–7.
- Ardani, A., Qiram, I., & Rubiono, G. (2018). Pengaruh sudut alur sekat terhadap unjuk kerja menara pendingin (cooling tower). *Dinamika Teknik Mesin*, 8(1), 21. <https://doi.org/10.29303/dtm.v8i1.136>
- Effendi, A., & Wirza, R. (2013). Perencanaan Sistem Scada Cooling Tower Menggunakan Siemens Simatic Step 7 Dan Wincc. *Teknoif*, 1(1), 6–15.
- Fauzi, D. A., & Rudiyanto, B. (2016). Analisa Performa Menara Pendingin Pada Pt. Geo Dipa Energi Unit Dieng. *Jurnal Ilmiah Rotari*, 1(1), 25–32.
- Handoyo, Y. (2015). Analisis Performa Cooling Tower LCT 400. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 3(1), 38–52. <http://ejournal.unismabekasi.ac.id>
- Irawan, T. (2022). 455562-None-a5909576. 6(1), 53–62.
- Komarudin, & Saputra, R. (2017). Cooling Tower Pada Tungku Induksi Pengecoran Logam Di Polman Astra. *Bina Teknik*, 13(1), 11–21.
- Laksanawati, E. K., Sulaeman, A., & Rosyidin, A. (2022). Desain Rancang Bangun Cooling Tower menggunakan Aplikasi Autocad Skala Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang. *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 37. <https://doi.org/10.31000/mbjtm.v6i1.6698>
- Liu, N., Zhang, L., & Jia, X. (2017). The Effect of the Air Water Ratio on Counter Flow Cooling Tower. *Procedia Engineering*, 205, 3550–3556. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.925>
- 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*, 2–6. <https://doi.org/10.13140/2.1.4378.4001>
- Melkias, A. (2021). Analisa Performa Pada Cooling Tower Jenis Mechanical Draft Crossflow. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 24–28. <https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2321>
- Muhsin, A., & Pratama, Z. (2018). Analisis Efektivitas Mesin Cooling Tower Menggunakan Range and Approach. *Opsi*, 11(2), 119. <https://doi.org/10.31315/opsi.v11i2.2552>
- Pratama, F. P., Setyawan, D. L., & Ramadhan, M. E. (2021). ANALISIS UNJUK KERJA COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTER FLOW DENGAN BAHAN PENGISI ASBES Industrial development is one of the economic components that influences national economic growth . Increased industrial growth is also aimed at realizing national go. 14(April), 35–42.
- Ramkumar, R., & Ragupathy, A. (2011). IJTPE Journal THERMAL

PERFORMANCE OF FORCED DRAFT COUNTER FLOW WET COOLING TOWER WITH EXPANDED WIRE MESH PACKING. *International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) Issue, 6(March), 19–23. www.iotpe.com*

- Santoso, B., Danardono, D., Tjahjana, D. P., & Joko, P. (2017). *Influence of Guide Vane Number and Angle on Cross Flow Turbine Performance of Cooling Tower*. 19–24.
- Suhardi Putra, R. (2015). Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower Pada Fluida Di Mesin Injeksi Plastik. *Jurnal Teknik Mesin, 4(2)*, 19. <https://doi.org/10.22441/jtm.v4i2.1010>
- Umurani, K., Syuhada, A., Maulana, M. I., & Fuadi, Z. (2023). Pengaruh Rasio Massa Air dan Udara Terhadap Unjuk Kerja Forced Draft Wet Cooling Sudut Inklinasi Splash Fill Berlubang. *Seminar Nasional Teknoka, 8(2502)*, 35–41.
- Winata, H., Syamsuddin, E., & Calvinus, Y. (2013). Sistem Pengawasan Dan Pengontrolan Cooling Tower Pada Industri Manufaktur. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro, 15(Maret)*, 73–84.
- Wuryanti, S. (2021). Peningkatan Efektivitas Cooling Tower dengan Metoda Air High Speed. *Jurnal Teknik Energi, 10(1)*, 40–43. <https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2326>
- Zohrarirani, F., Permatasari, P. D., Studi, P., Pembangkit, S., & Teknik, D. (n.d.). *Studi Kasus Drift Loss Pada Cooling Tower Unit 3 Di Pt . Indonesia Power Uppj Kamojang Unit Pltp Kamojang*. 1–6.
- Zulfikar, Z. (2019). Penambahan Water Coolant Pada Cooling Tower Tipe Counter Flow. *Jurnal Mesin Nusantara, 1(2)*, 85–92. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i2.13566>

LAMPIRAN

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

1. Pengaruh *L/G* terhadap *Range*

<i>L/G</i>	Range 35	Range 38	Range 41	Range 44	Range 47	Range 50
5,31	1,30	1,87	2,16	2,18	3,19	3,69
3,16	1,38	2,12	2,78	3,07	3,52	4,43
2,19	1,70	2,34	3,25	3,78	4,24	5,10
1,41	2,16	2,91	3,66	4,32	5,03	5,58
0,95	2,76	3,84	4,53	5,21	6,22	6,76
0,71	3,21	4,71	5,45	6,16	7,19	8,12

2. Pengaruh *L/G* terhadap *Approach*

<i>L/G</i>	App 35	App 38	App 41	App 44	App 47	App 50
5,31	8,70	11,76	14,84	15,95	18,93	20,03
3,16	7,86	11,41	13,91	14,33	16,04	18,55
2,19	7,64	11,38	13,03	13,99	15,80	17,12
1,41	7,10	10,78	11,99	12,79	14,69	16,42
0,95	5,81	9,48	10,92	11,14	13,19	13,80
0,71	6,13	8,79	9,55	9,62	11,40	13,22

3. Pengaruh *L/G* terhadap *Efektifitas*

<i>L/G</i>	Efek 35	Efek 38	Efek 41	Efek 44	Efek 47	Efek 50
5,31	0,13	0,14	0,13	0,12	0,14	0,16
3,16	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19
2,19	0,18	0,17	0,20	0,21	0,21	0,23
1,41	0,23	0,21	0,23	0,25	0,26	0,25
0,95	0,32	0,29	0,29	0,32	0,32	0,33
0,71	0,34	0,35	0,36	0,39	0,39	0,38

4. Pengaruh *L/G* terhadap *Q*

<i>L/G</i>	Q 35	Q 38	Q 41	Q 44	Q 47	Q 50
5,31	504,60	657,72	791,70	795,18	1118,82	1512,06
3,16	530,70	820,70	1009,20	1104,90	1325,30	1789,30
2,19	643,70	959,40	1176,70	1369,40	1676,90	2017,20
1,41	819,20	1103,30	1362,90	1616,01	1992,43	2297,60
0,95	1056,00	1385,28	1635,40	1991,34	2472,34	2774,40
0,71	1200,00	1687,50	1950,00	2250,00	2850,00	3400,00

5. Pengaruh L/G terhadap Me

L/G	Me 35	Me 38	Me 41	Me 44	Me 47	Me 50
5,31	0,02515	0,036065	0,041822	0,042759	0,063364	0,083654
3,16	0,026052	0,03975	0,052262	0,059176	0,068355	0,093243
2,19	0,032043	0,043294	0,060381	0,072002	0,081554	0,103985
1,41	0,040435	0,052201	0,066914	0,080485	0,094395	0,110209
0,95	0,052382	0,068596	0,081638	0,096386	0,115281	0,131417
0,71	0,059462	0,083858	0,098072	0,113585	0,132715	0,157478

6. Pengaruh L/G terhadap Mev

L/G	Mev 35	Mev 38	Mev 41	Mev 44	Mev 47	Mev 50
5,31	0,000179	0,000224	0,000286	0,000306	0,000399	0,000536
3,16	0,000196	0,000307	0,000384	0,000427	0,000497	0,000648
2,19	0,000244	0,000374	0,000431	0,000517	0,000623	0,000734
1,41	0,000321	0,000476	0,000579	0,000686	0,000812	0,000886
0,95	0,000449	0,00066	0,000756	0,000909	0,001066	0,00111
0,71	0,000515	0,000764	0,000928	0,001084	0,00127	0,001371

Laju Aliran Air L/G Suhu 35°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,09	4179,00	0,0174	1000,64	5,18	35,79651	35,59	35,29	35,62	34,87	34,50	29,89	76,50	25,80	32,40	98,00	31,30
15	0,09	4179,00	0,0290	1000,64	3,16	35,14206	34,92	34,64	34,92	34,12	33,76	30,00	76,67	25,90	30,90	95,74	29,50
20	0,09	4179,00	0,0410	1000,64	2,19	35,34532	35,08	34,53	35,00	33,97	33,64	30,00	77,17	26,00	30,50	94,28	29,20
30	0,09	4179,00	0,0640	1000,64	1,41	35,26883	34,95	34,10	34,73	33,50	33,10	29,97	77,00	26,00	29,90	95,30	28,50
40	0,09	4179,00	0,0960	1000,64	0,95	35,47078	35,11	34,08	34,80	33,29	32,71	30,98	76,94	26,90	30,00	97,88	29,00
50	0,09	4179,00	0,1250	1000,64	0,71	35,23569	34,81	33,42	34,44	32,83	32,03	30,01	76,66	25,90	29,20	96,02	27,90

Laju Aliran Air L/G Suhu 38°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,08	4179,00	0,0174	1000,64	4,83	39,02225	38,79	38,19	38,64	37,73	37,16	32,99	57,73	25,40	36,80	78,91	32,30
15	0,09	4179,00	0,0290	1000,64	3,18	38,62349	38,36	37,89	38,17	37,13	36,51	32,92	56,58	25,10	34,00	83,80	30,60
20	0,10	4179,00	0,0410	1000,64	2,37	38,5267	38,25	37,70	37,98	36,73	36,18	32,87	55,19	24,80	32,90	82,83	29,50
30	0,09	4179,00	0,0649	1000,64	1,38	37,78326	37,42	36,33	36,93	35,36	34,88	32,64	52,40	24,10	30,90	82,94	27,70
40	0,09	4179,00	0,0962	1000,64	0,90	37,52239	37,12	35,40	36,50	34,47	33,68	32,79	52,03	24,20	29,80	86,94	27,30
50	0,09	4179,00	0,1250	1000,64	0,68	37,60638	37,11	35,13	36,37	34,08	32,89	32,50	52,64	24,10	30,50	80,63	27,00

Laju Aliran Air L/G Suhu 41°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,09	4179,00	0,0174	1000,64	4,96	41,50349	41,27	40,73	41,09	40,13	39,34	33,48	50,73	24,50	36,20	85,28	32,90
15	0,09	4179,00	0,0290	1000,64	2,96	41,09161	41,27	40,04	40,46	39,28	38,31	33,30	51,23	24,40	34,00	87,39	31,20
20	0,08	4179,00	0,0410	1000,64	2,06	40,8711	40,52	39,44	40,02	38,59	37,63	33,39	51,70	24,60	34,60	77,75	30,20
30	0,09	4179,00	0,0649	1000,64	1,33	40,25028	39,87	38,28	39,16	37,27	36,59	33,50	51,06	24,60	31,40	87,51	28,80
40	0,09	4179,00	0,0962	1000,64	0,89	39,75225	39,30	37,35	38,51	36,14	35,22	33,34	50,43	24,30	30,00	89,75	27,80
50	0,08	4179,00	0,1250	1000,64	0,67	39,40005	38,82	36,47	37,94	35,31	33,95	33,50	50,37	24,40	29,90	89,15	27,60

Laju Aliran Air L/G Suhu 44°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,09	4179,00	0,0174	1000,64	4,99	43,63688	43,37	42,81	43,19	42,25	41,45	34,97	49,97	25,50	35,40	94,69	33,70
15	0,09	4179,00	0,0290	1000,64	2,97	43,09803	43,37	41,95	42,36	41,13	40,03	35,00	50,66	25,70	35,30	88,54	32,60
20	0,09	4179,00	0,0410	1000,64	2,09	43,37083	42,93	41,54	42,34	40,68	39,59	34,50	50,18	25,60	35,50	82,17	31,70
30	0,09	4179,00	0,0649	1000,64	1,36	42,61817	42,12	40,37	41,29	39,13	38,29	34,50	49,71	25,50	32,50	90,39	30,20
40	0,09	4179,00	0,0962	1000,64	0,94	41,94518	41,36	39,34	40,48	37,81	36,74	35,00	50,52	25,60	31,30	94,06	29,60
50	0,09	4179,00	0,1250	1000,64	0,70	41,58661	40,96	38,45	39,90	37,02	35,42	35,00	51,11	25,80	31,00	93,22	29,30

Laju Aliran Air L/G Suhu 47°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,08	4179,00	0,0174	1000,64	4,79	45,41661	45,04	43,47	44,57	43,34	42,23	33,21	49,81	23,30	37,40	91,21	35,00
15	0,09	4179,00	0,0290	1000,64	3,09	44,05972	43,67	42,33	43,12	41,76	40,54	33,91	49,36	24,50	35,60	89,29	33,00
20	0,09	4179,00	0,0410	1000,64	2,30	44,64083	44,18	42,49	43,43	41,73	40,40	33,98	49,45	24,60	35,80	83,71	32,40
30	0,09	4179,00	0,0649	1000,64	1,45	44,31908	43,75	41,43	42,75	40,42	39,29	34,00	49,42	24,60	32,80	91,05	30,60
40	0,09	4179,00	0,0962	1000,64	0,98	44,01101	43,35	40,47	42,19	39,10	37,79	34,00	49,22	24,60	31,40	93,40	29,70
50	0,09	4179,00	0,1250	1000,64	0,76	43,28385	42,52	39,32	41,26	37,99	36,10	34,22	49,13	24,70	31,20	92,31	29,30

Laju Aliran Air L/G Suhu 50°C

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	mair	cpair	mudara	cpudra	L/G	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tai	Rhi	twb	Tao	RH	twb
10	0,10	4179,00	0,0174	1000,64	5,46	50,41908	50,00	48,76	49,46	48,07	46,73	34,00	60,00	26,70	41,20	97,68	39,70
15	0,10	4179,00	0,0290	1000,64	3,30	49,68674	49,21	47,77	48,45	46,85	45,25	33,99	60,33	26,70	38,10	97,91	36,70
20	0,09	4179,00	0,0410	1000,64	2,29	49,02009	48,47	46,42	47,50	45,64	43,92	34,00	60,66	26,80	37,20	92,98	35,10
30	0,10	4179,00	0,0640	1000,64	1,52	48,90381	48,27	45,71	47,10	44,61	43,32	34,00	61,35	26,90	34,40	98,00	33,20
40	0,10	4179,00	0,0960	1000,64	1,02	47,5605	46,80	43,67	45,52	42,41	40,80	33,98	61,78	27,00	33,30	98,00	32,20
50	0,10	4179,00	0,1250	1000,64	0,80	48,43628	47,54	43,88	46,08	42,33	40,32	34,00	62,31	27,10	33,10	98,00	32,00

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : PENGARUH RASIO LAJU ALIRAN AIR/UDARA (L/G)
PADA KINERJA WCT (Wet Cooling Tower)
MENGUNAKAN PERFORATED SPLASH FILL
Nama : Muhammad Haekal
NPM : 2007230001
Dosen Pembimbing : Khairul Umurani, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
		- Pemberian spekulasi Tugas Akhir	u
		- Perbaiki Pendahuluan	u
		- Perbaiki Rumusan, tujuan Penelitian	u
		- Perbaiki Persamaan yang digunakan	u
		- Perbaiki Metode	u
		- Perbaiki alat dan bahan	u
		- ACC, Seminar Proposal	u
		- Perbaiki Bab 4	u
		- Revisi kesimpulan	u
		- ACC, seminar Hasil	u



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Widyaiswara KEMDIKTI terakreditasi
Akkreditasi

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi 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 [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#) [umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor: 1071/II.3AU/UMSU-07/F/2023

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin pada Tanggal 04 November 2023 dengan ini Menetapkan :

Nama : MUHAMMAD HAEKAL
Npm : 2007230001
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH RASTO PERFORASI PADA KINERJA WCT (WET COOLING TOWER) MENGGUNAKAN PERFORATED SPLASH FILL .

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.

Ditetapkan di Medan pada Tanggal,
Medan, 21 Rabiul Akhir 1445 H
04 November 2023 M

Dekan


Muhammad Tuberry Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



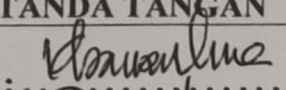
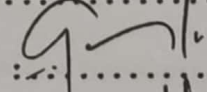

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2023 – 2024**

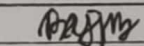
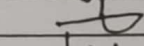
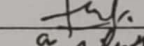
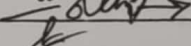

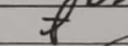
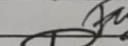
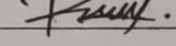

Peserta seminar

Nama : Muhammad Haekal

NPM : 2007230001

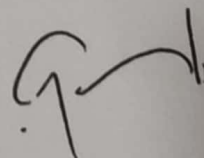
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT 
Pemanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT 
Pemanding – II : Arya Rudi Nasution, ST, MT 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230072	Librizib Alnabawi	
2	2007230039	Iniam Natawijaya	
3	2007230171	IQBAL SLEH HUTAGALUNG	
4	2007230003	Firman Nanda Irawan	
5	2007230027	Muhammad Fauzan	
6	1907230176	Ahmad Khairul Badri	
7	1907230137	RIO GILANG RAMADHAN	
8	2007230114	Febri. Wahyu Putra	
9	2007230070	m. Rival Purnoyan	
10			

Medan, 09 Safar 1446 H
14 Agustus 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Muhammad Haekal
NPM : 2007230001
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi Nasution, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

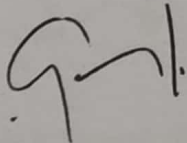
KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain : *lihat buku tugas akhir*
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....


Medan, 09 Safar 1446 H
14 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT



Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Muhammad Haekal
NPM : 2007230001
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Rasio Laju Aliran Air/Udara (L/G) Pada Kinerja WCT (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar, ST, MT
Dosen Pembanding – II : Arya Rudi Nasution, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

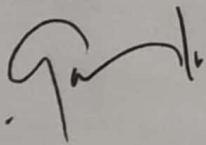
KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
 - Menulis isi skripsi harus sesuai dengan template
 - Menambahkan Tinjauan Pustaka
 - Membenarkan Penjelasan dari Alat Penelitian.
 - Perbaiki kesimpulan dan saran
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....
.....

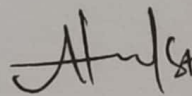
Medan 09 Safar 1446 H
14 Agustus 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT



Arya Rudi Nasution, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Muhammad Haekal
Jenis Kelamin : Laki - laki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 29 Agustus 2002
Alamat : Jl. Jermal 15 perumahan citra raya
Menteng No B5
Agama : Islam
E-mail : muhammadhaekal2019@gmail.com
No. Hp : 081370884830

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 1 Bhakti Karya Kalteng Tahun 2008 - 2014
2. SMP Swasta Nurul Islam Indonesia Medan Tahun 2014 - 2017
3. SMK Swasta Multi Karya Medan Tahun 2017 - 2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2020 - 2024