

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN *FIELL* TERHADAP KINERJA WTC (*WET COOLING TOWER*) MENGGUNAKAN *PERPORATED SPLASH FILL*

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

Disusun Oleh:

PITRIAN DOLI SAHBANA HASIBUAN
2007230009



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

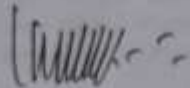
Nama : Pitrian Doli Sahbana Hasibuan
NPM : 2007230009
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Sudut Kemiringan *Fill* Terhadap Kinerja *WCT (Wet Cooling Tower)* Menggunakan *Perforated Splash Fill*
Bidang Ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 20 September 2024

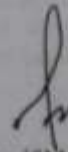
Mengetahui Dan Menyetujui:

Dosen Penguji I



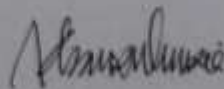
Rahmatullah, S.T., M.Sc

Dosen Penguji II



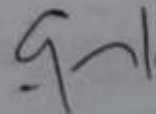
H. Muharnif M, S.T., M.Sc

Dosen Penguji III



Khairul Umurati S.T., M.T

Ketua, Program Studi Teknik Mesin



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

ABSTRAK

Dalam industri yang menggunakan mesin berkapasitas besar, peningkatan suhu pada mesin dan lingkungan sekitarnya seringkali menjadi masalah signifikan. Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan Wet Cooling Tower (WCT) dengan Perforated Splash Fill menjadi solusi efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh sudut kemiringan fiell terhadap kinerja WCT dengan menguji sudut 10° , 20° , dan 30° , serta debit aliran udara yang bervariasi. Metodologi yang digunakan melibatkan pengukuran suhu air masuk dan keluar dari cooling tower, serta analisis selisih suhu untuk menilai kinerja. Data diambil setiap 10 menit untuk memastikan akurasi. Alat yang digunakan termasuk sensor suhu dan perangkat pengukur aliran udara. Hasil analisis menunjukkan bahwa sudut kemiringan fill memiliki dampak signifikan terhadap kinerja WCT. Pada rasio L/G yang lebih tinggi, terjadi peningkatan range kinerja, sementara rasio L/G yang lebih rendah menunjukkan kestabilan. Nilai approach juga dipengaruhi oleh sudut kemiringan, dengan performa terbaik tercatat pada sudut 20° , di mana efektivitas mencapai puncaknya. Namun, efektivitas menurun tajam pada sudut lebih besar, seperti 30° . Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan fiell dan rasio L/G memiliki dampak signifikan terhadap kinerja WCT, khususnya dalam hal range, approach, Me, Mev dan efektivitas. Temuan ini dapat digunakan untuk optimasi desain cooling tower di industri untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja operasional.

Kata Kunci: Cooling tower, Range, *Approach*, Efektivitas, *Fiell*

ABSTRACT

In industries that use large capacity machines, the increase in temperature on the machine and the surrounding environment is often a significant problem. To overcome this problem, the use of Wet Cooling Tower (WCT) with Perforated Splash Fill is an effective solution. This study aims to analyze the effect of fill inclination angle on WCT performance by testing angles of 10°, 20°, and 30°, and varying airflow rates. The methodology used involved measuring the inlet and outlet water temperatures from the cooling tower, as well as analyzing the temperature difference to assess performance. Data was taken every 10 minutes to ensure accuracy. Tools used included a temperature sensor and an air flow measurement device. The results of the analysis show that the fill inclination angle has a significant impact on the performance of the WCT. At higher L/G ratios, there is an increase in the performance range, while lower L/G ratios show stability. The approach value is also affected by the tilt angle, with the best performance recorded at an angle of 20°, where the effectiveness reaches its peak. However, effectiveness decreases sharply at larger angles, such as 30°. The conclusion of this study shows that fill tilt angle and L/G ratio have a significant impact on WCT performance, particularly in terms of range, approach, and effectiveness. These findings can be used for cooling tower design optimization in industry to improve operational efficiency and performance.

Keywords: Cooling tower, Range, Approach, Effectiveness, Fiell

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum 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 ganti untuk kita semua. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul “*Pengaruh Sudut Kemiringan Fiell Terhadap Kinerja WTC (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill*”. Dalam menyelesaikan tugas ini penulis banyak mengalami hambatan dan rintangan yang disebabkan minimnya pengetahuan dan pengalaman penulis, namun berkat petunjuk Allah SWT yang terus-menerus hadir dan atas kerja keras penulis, dan atas banyaknya bimbingan dari pada dosen pembimbing serta bantuan moril maupun materil dari berbagai pihak akhirnya penulis dapat menyelesaikan menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini.

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

1. Kedua orang tua tercinta penulis yaitu Ayahanda Lukman hasibuan dan Ibunda Nurhasanah Rambe yang telah membesarkan, mengasuh, mendidik, serta senantiasa memberikan kasih sayang, do’a yang tulus, dan dukungan yang tak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, saran, waktu, dan motivasi yang diberikan.
3. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T. Sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, ST., M.T. Sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Segenap Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas

Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmunya kepada penulis.

7. Putra Lukmana Yunus Hasibuan, S.P. dan Ade Surya Ashari Hasibuan, S.P. beserta istri selaku abang kandung penulis, terima kasih dukungan terhadap penulis.
8. Dan kepada organisasi Mapala Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara terima kasih atas pengalaman organisasi yang banyak membantu saya dalam mengembangkan diri dan teman satu angkatan “Pancadasa Akar Panjalin” angkatan ke XXVII
9. Rekan rekan seperjuangan, Muhammad farhan, Muhammad Fakhri Pardosi, Imam natawijaya, Librajib Alnabawi, Muhammad Haekal tim proyek prototype cooling tower yang telah bersama-sama berjuang dalam mengerjakan dan membuat alat serta memberikan bantuan, saran dan dukungan kepada penulis.
10. Rekan-rekan seperjuangan kelas A1 Pagi Stambuk 2020, serta rekan – rekan bidang keahlian konversi energy yang telah banyak memberi saran dan dukungan kepada penulis.
11. Dan seluruh Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Teman-teman penulis satu bimbingan Tugas Akhir yang telah berjuang bersama-sama penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Meskipun penulis telah berusaha menyelesaikan ini sebaik mungkin, Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif dan memberikan manfaat bagi bidang pendidikan di masa depan.

Medan, 20 September 2024

Pitrian Doli Sahbana Hasibuan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.4.1 Tujuan Umum	3
1.4.2 Tujuan khusus	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Menara Pendingin Cooling Tower	5
2.1.1 Definisi Menara Pendingin	5
2.2 Jenis-jenis Menara Pendingin.	6
2.2.1 Cooling Tower Aliran Natural	6
2.2.2 Cooling Tower Mekanik	7
2.2.3 Counter Flow Cooling Tower	8
2.2.4 Crossflow Cooling Tower	9
2.3 Sistem Pendingin	9
2.3.1 Definisi Sistem Pendingin	9
2.4 Jenis-Jenis Sistem Pendingin	11
2.4.1 Pendinginan Evaporatif langsung	11
	viii

2.4.2 Pendinginan Evaporatif tak langsung.	12
2.5 Prinsip Kerja Cooling Tower	13
2.5.1 Range	14
2.5.2 Approach	14
2.5.3 Efektivitas	15
2.5.5 Kalor yang dilepaskan air panas	15
2.5.6 Karakteristik menara	16
2.6 Bahan Pengisi Cooling Tower	16
2.6.1 Media pengisi pemercik (Splash Fill)	16
2.6.2 Media pengisi film (Film Fill)	16
2.6.3 Bahan pengisi sumbatan rendah (Low-clog film fills)	17
2.7 Sudut Kemiringan Fill	17
2.8 Komponen Menara Pendingin	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu	21
3.1.1. Tempat Penelitian	21
3.1.2. Waktu Penelitian	21
3.2 Alat Pengujian	22
3.2.1 Peralatan Pengujian	22
3.3 Bagan Alir Penelitian	28
3.4 Komponen Alat Penelitian	29
3.5 Prosedur Penelitian	29
3.5.1 Langkah Langkah Penelitian	29
3.6 Variasi Sudut <i>Fill</i>	31
3.2.1 Fill Sudut 10°	31
3.2.2 Fill Sudut 20°	31
3.2.3 Fill Sudut 30°	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data dan Hasil Penelitian	33
4.2 Pembahasan	34

4.2.1 Pengaruh Sudut Terhadap Range Cooling Tower.	34
4.2.2 Pengaruh Sudut Terhadap Approach Cooling Tower	35
4.2.3 Pengaruh sudut Terhadap Efektivitas cooling tower	36
4.2.4 Pengaruh sudut terhadap Me cooling tower	37
4.2.5 Pengaruh sudut fill Terhadap Mev cooling tower	38
4.2.6 Pengaruh sudut fill Terhadap Q cooling tower	39
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan:	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR	
SK PEMBIMBINGAN	
BERITA ACARA SEMINAR RIWAYAT PROPOSAL	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Kegiatan Penelitian

19

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cooling Tower Aliran Natural	7
Gambar 2. 2 Cooling Tower mekanik	8
Gambar 2. 3 Range Dan Approach	11
Gambar 2. 4 Evaporatif langsung	12
Gambar 2. 5 Evaporatif tak langsung	13
Gambar 2. 6 Wadah Atau Rangka	18
Gambar 2. 7 fan	19
Gambar 2. 8 splash fill	19
Gambar 2. 10 Pipa Sprinkler	20
Gambar 2. 11 Penampung Air	20
Gambar 3. 1 Cooling Tower	22
Gambar 3. 2 komputer	22
Gambar 3. 3 Arduino Uno	23
Gambar 3. 4 pompa	23
Gambar 3. 5 Flow Meter	24
Gambar 3. 6 Busur Derajat	24
Gambar 3. 7 katup	25
Gambar 3. 8 Water Heater	25
Gambar 3. 9 Blower	26
Gambar 3. 10 Thermo hygrometer	26
Gambar 3. 11 Fiell jenis percikan (Splash fill)	26
Gambar 3. 12 Termometer Air Raksa	27
Gambar 3. 13 DS18B20	27
Gambar 3. 14 Skema alat penelitian	29
Gambar 3. 15 sekema cooling tower	30
Gambar 3. 16 sudut fill 0°	31
Gambar 3. 17 sudut fill 10°	31
Gambar 3. 18 sudut fill 20°	32
Gambar 3. 19 sudut fill 30°	32
Gambar Grafik 4. 1 Pengaruh sudut terhadap Range	34
Gambar Grafik 4. 2 Pengaruh sudut terhadap Approach	35
Gambar Grafik 4. 3 Pengaruh sudut terhadap Efektivitas	36
Gambar Grafik 4. 4 Pengaruh sudut terhadap Me	37
Gambar Grafik 4. 5 Pengaruh suhu air masuk terhadap Mev	38
Gambar Grafik 4. 6 Pengaruh suhu air masuk terhadap Q	36

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	satuan
\dot{m}	Laju aliran massa	kg/dt
ΔT	Beda suhu	K
T_{wi}	suhu air masuk	$^{\circ}\text{C}$
T_{wo}	suhu air keluar	$^{\circ}\text{C}$

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berawal dari industri yang membutuhkan alat-alat operasional berupa mesin industrial yang berkapasitas besar tentunya juga menimbulkan perubahan suhu pada mesin mau pun lingkungan sekitar. Untuk menjawab keluhan itu para engineer membuat sebuah sistem pendingin berkapasitas besar, yang sekiranya dapat menjadi solusi. *cooling tower/ menara pendingin*".

Cooling tower didefinisikan 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 secara vertikal ke atas melintasi menara. Semua *cooling tower* yang bekerja akan melepaskan kalor melalui kondensor, *refrigeren* akan melepas kalornya kepada *cooling tower* sehingga air menjadi panas. Selanjutnya air panas ini akan dipompakan ke *cooling tower*.(Yulianto and Urbiantoro n.d.)

Menara pendingin adalah alat penolak panas yang mengekstraksi atau membuang panas ke atmosfer melalui pendinginan aliran air pada suhu yang lebih rendah, Jenis panas penolakan di menara pendingin disebut *evaporatif* dalam sehingga memungkinkan sebagian kecil air didinginkan menguap menjadi aliran udara yang bergerak untuk memberikan hasil yang signifikan mendinginkan ke sisa aliran.(Patel and Infa 2023)

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*. Pada bagian penampung air (*water basin*) biasanya terdapat kerak dan lumut yang

menempel pada dinding-dinding *cooling tower*, yang disebabkan karena zat-zat seperti mineral yang terdapat pada air. 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 and Mursadin 2022)

Cooling tower banyak digunakan di industri atau pun pembangkit listrik seperti PLTU untuk sistem pendinginan air. Air panas yang berasal dari pipa akan dipompakan menuju bagian atas *cooling tower*, kemudian air tersebut akan disemprotkan melalui pipa-pipa nozel, sehingga menjadi butiran-butiran kecil yang kemudian jatuh kebawah dan saling bersentuhan dengan angin yang ditarik oleh fan *cooling tower* sehingga terjadinya pertukaran panas antara air dengan udara. *Cooling tower* merupakan alat bantu pendukung dalam hal untuk mendinginkan air yaitu dengan memanfaatkan udara lingkungan sekitar sebagai media untuk mendinginkan air. (Rahman and Mursadin 2022).

Menara pendingin atau *cooling tower* adalah salah satu sistem yang baik untuk ekstraksi tenaga angin. (Ardani, Qiram, and Rubiono 2018) Udara sekitar ditarik ke menara pendingin dan udara panas dipaksa keluar dari outlet menara pendingin dengan bantuan fan. 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*. (Lestari 2017) Menara pendingin pada PLTU tidak sepenuhnya mendinginkan air secara efektif 100 %, hal itu disebabkan karena beberapa faktor yaitu adanya penumpukan kerak atau lumut pada bagian-bagian *cooling tower* serta temperatur lingkungan yang bisa berubah sewaktu-waktu.

Dari latar belakang masalah tersebut, maka diperlukan suatu metode untuk menganalisis kinerja *cooling tower*, apakah masih mampu mendinginkan air secara optimal atau pendinginannya menurun saat sudut fill nya di rubah, sehingga penulis berinisiatif untuk membuat judul dengan metode yang sekiranya mampu dalam mendeteksi kinerja *cooling tower* yaitu dengan judul “Pengaruh Sudut Kemiringan *Fiell* Terhadap Kinerja WTC (*Wet Cooling Tower*) Menggunakan

Perforated Splash Fill” Untuk mengetahui apakah kinerja *cooling tower* pada saat itu masih mampu mendinginkan air secara optimal atau kinerjanya menurun.

Sistem pendinginan air pada *cooling tower* lebih efektif dibandingkan alat pendukung pendinginan air lainnya, hal itu dikarenakan *cooling tower* hanya menggunakan udara lingkungan sekitar sebagai media untuk mendinginkan air, tanpa memerlukan media pendingin lain, selain itu uap panas yang keluar melalui cerobong *cooling tower* tidak menyebabkan kerusakan bagi lingkungan sekitar, sehingga bersifat ramah lingkungan.(Jassim 2006)

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian adalah:

1. Bagaimana Pengaruh Sudut Kemiringan *Fiell* Terhadap Kinerja WTC (*WetCooling Tower*) Menggunakan *Perforated Splash Fill*.

1.3 Ruang Lingkup

Untuk dapat melakukan pembahasan secara lebih terarah dan sistematis maka dapat dituliskan dalam bentuk poin sebagai berikut:

1. Pengaruh *Splash Fill 8 mm* dan Sudut Kemiringan *Fiell 10°, 20°, 30°*, Terhadap Kinerja WTC (*Wet Cooling Tower*) Menggunakan *Perforated Splash Fill*
2. Efektivitas Sudut kemiringan *Fiell* Terhadap Kinerja WTC (*Wet Cooling Tower*) Menggunakan *Perforated Splash Fill*

1.4 Tujuan Penelitian

1.4.1 Tujuan Umum

Adapun yang menjadi tujuan umum dari pengujian ini adalah untuk mengetahui Pengaruh Sudut Kemiringan *Fiell* Terhadap Kinerja WTC (*Wet CoolingTower*)

1.4.2 Tujuan khusus

Tujuan khusus dari pengujian prototipe *cooling tower* ini adalah :

1. Untuk mengetahui kinerja *range* pada WCT (*Wet Cooling Tower*)
2. Untuk mengetahui nilai *approach* terhadap kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*)

3. Untuk mendapatkan nilai *efektifitas* terhadap kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*)
4. Untuk mendapatkan nilai *Me* terhadap kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*)
5. Untuk mendapatkan nilai *Mev* terhadap kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*)
6. Untuk mendapatkan nilai *Q* terhadap kinerja WCT (*Wet Cooling Tower*)

1.5 Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian dapat dipergunakan sebagai referensi bagi penulis mau pun pihak lain yang ingin meneliti dengan lebih dalam mengenai proses atau cara mengetahui efektivitas dan efisiensi.
2. Memberikan informasi dari hasil analisa *Cooling Tower* seperti *range, approach, efektivitas* yang dihasilkan relevan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

2.1.1 Definisi Menara Pendingin

Cooling tower adalah peralatan yang dirancang khusus untuk mengurangi suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan melepaskannya ke atmosfer. Proses pendinginan yang dilakukan oleh cooling tower sangat efisien, karena memanfaatkan mekanisme penguapan. Dalam proses ini, sebagian air yang mengalir di dalam menara akan menguap ke dalam aliran udara, dan uap tersebut kemudian dibuang ke atmosfer. Akibatnya, sisa air yang tetap dalam sistem mengalami penurunan suhu yang signifikan, menjadikannya lebih dingin dan siap digunakan kembali dalam berbagai aplikasi industri atau pendinginan. (FAHMI 2021)

Salah satu keunggulan dari cooling tower adalah kemampuannya untuk menurunkan suhu air dengan lebih efektif dibandingkan dengan perangkat lain yang hanya mengandalkan udara untuk menghilangkan panas, seperti radiator pada mobil. Oleh karena itu, cooling tower sering kali dianggap lebih hemat biaya dan hemat energi, terutama dalam skala besar, di mana pengurangan suhu yang substansial sangat penting untuk efisiensi operasional. Dalam konteks lebih luas, cooling tower juga dapat didefinisikan sebagai alat penukar kalor. Dalam proses kerjanya, cooling tower mengandalkan kontak langsung antara air dan udara, yang memfasilitasi proses pendinginan. Ketika air dan udara bersentuhan, sebagian kecil air akan menguap, membawa panas bersamanya dan menghasilkan efek pendinginan yang signifikan. Ini adalah prinsip dasar yang menjadi landasan efisiensi cooling tower dalam menjaga suhu air pada tingkat yang diinginkan. (Zulfikar 2019)

Menurut Komarudin dan Saputra (2017), cooling tower merupakan peralatan yang tidak hanya mengurangi suhu aliran air, tetapi juga memainkan peran penting dalam sistem pendinginan yang lebih besar, seperti dalam pembangkit listrik, industri manufaktur, dan sistem HVAC. Dengan kemampuan untuk mengeluarkan panas secara efektif ke atmosfer, cooling tower membantu

menjaga kinerja optimal dari berbagai sistem yang bergantung pada pengendalian suhu air.(Komarudin and Saputra 2017)

Dengan demikian, cooling tower adalah komponen krusial dalam sistem pendinginan modern, yang memberikan manfaat signifikan dalam hal efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional.

2.2 Jenis-jenis Menara Pendingin.

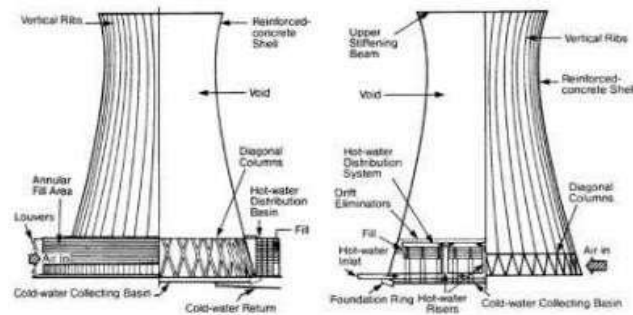
Secara umum cooling tower terbagi dalam dua jenis, yaitu cooling tower aliran natural dan cooling tower aliran mekanis. Cooling tower juga dimanfaatkan dalam Upaya peningkatan produktifitas serta efisiensi pada proses produksi mesin di industri. Karena dalam beberapa hal di industri dibutuhkan tingkat 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.(Suhardi Putra 2015)

Menara pendingin dirancang dan diproduksi dalam beberapa jenis, dengan berbagai ukuran (model). Tidak semua tipe cocok untuk diterapkan pada setiap konfigurasi beban panas. Berikut adalah Pengertian Macam-macam dan Jenisnya, Beserta Ciri-cirinya, kelebihan dan keterbatasan, dapat menjadi sangat penting bagi calon pengguna, dan sangat penting untuk pemahaman penuh.(Dahl, R. 2013).

2.2.1 *Cooling Tower* Aliran Natural

Natural cooling tower tidak menggunakan bantuan kipas untuk mendinginkan air di dalam tower. Jadi pendingin tower jenis ini hanya mengandalkan prinsip sirkulasi udara dimana massa jenis uap panas akan lebih ringan dibandingkan dengan air sehingga uap panas akan sendirinya naik ke atas dan keluar. Cooling tower aliran natural berkerja dengan cara udara panas bergerak ke atas melalui menara (karena udara panas naik), udara dingin masuk ke menara melalui saluran masuk (inlet) di bagian bawah. Karena tata letak menara, maka tidak memerlukan kipas dan hampir tidak ada sirkulasi udara panas yang dapat mempengaruhi kinerja. Memiliki tinggi sekitar 200 meter dan lebar 150 meter, serta memerlukan banyak air yang mengalir di dalam menara. Menara pendingin jenis ini sebagian besar hanyadigunakan untuk proses pendinginan skala

besar, karena struktur beton yang mahal. (Sumarjianto et al 2020)



Gambar 2. 1 Cooling Tower Aliran Natural (Sumarjianto et al 2020)

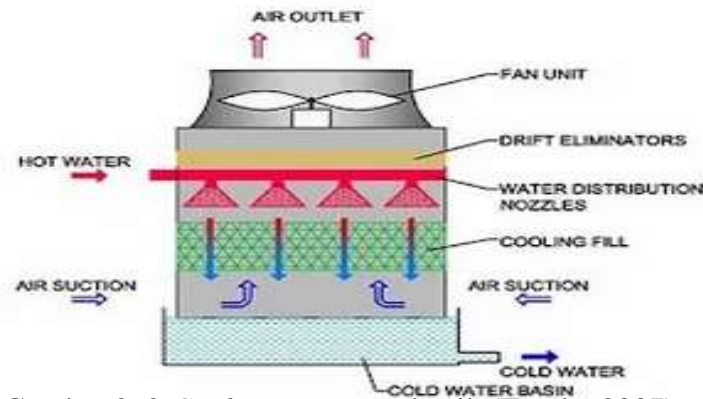
2.2.2 Cooling Tower Mekanik

Tidak seperti menara pendingin perancangan alami, menara pendingin perancangan mekanis menggunakan kipas atau proses lain untuk menyalurkan udara melalui menara. Kipas yang biasa digunakan dalam menara ini mencakup berbagai jenis, seperti kipas baling-baling dan kipas sentrifugal, yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi aliran udara. Dengan sistem draft mekanis ini, aliran udara dapat dikendalikan dengan lebih baik, sehingga memberikan kinerja pendinginan yang lebih efektif dibandingkan dengan menara pendingin yang mengandalkan draft alami.

Menara pendingin draft mekanis memiliki keunggulan dalam hal efisiensi pendinginan, yang membuatnya cocok untuk digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Mereka dapat dipasang dalam gedung dengan sistem pembuangan yang tepat, memberikan fleksibilitas dalam desain arsitektur. Namun, penggunaan sistem ini juga membawa konsekuensi, karena menara pendingin mekanis cenderung mengkonsumsi lebih banyak daya dibandingkan dengan menara pendingin aliran natural. Sebagai hasilnya, biaya operasional menara pendingin mekanis bisa lebih tinggi, meskipun kinerjanya lebih optimal.

Cooling tower mekanis bekerja dengan cara memaksa atau menarik udara dari air yang disirkulasi menggunakan fan. Proses ini memungkinkan air jatuh ke bawah dan melewati fill, yang dirancang khusus untuk meningkatkan waktu kontak antara air dan udara. Dengan meningkatkan waktu interaksi ini, perpindahan panas antara air dan udara dapat dimaksimalkan, sehingga meningkatkan efisiensi pendinginan. Tingkat pendinginan dari rancangan cooling tower mekanis tergantung pada berbagai parameter, termasuk diameter fan,

kecepatan operasi, dan desain fill yang digunakan. Parameter-parameter ini berperan penting dalam menentukan efektivitas sistem pendinginan secara keseluruhan. Dengan demikian, pemilihan dan perancangan yang tepat dari komponen ini sangat penting untuk mencapai kinerja optimal dalam aplikasi yang memerlukan pengendalian suhu yang efisien. (Tutuko 2007)



Gambar 2. 2 *Cooling Tower* mekanik (Tutuko 2007)

Selain dua jenis utama di atas, menara pendingin juga dapat diklasifikasikan berdasarkan arah aliran air dan udara.

2.2.3 *Counter Flow Cooling Tower*

Menara pendingin tipe counter flow adalah salah satu jenis menara pendingin yang dirancang dengan konfigurasi unik, di mana aliran air dan aliran udara bergerak dalam arah yang berlawanan. Dalam sistem ini, air panas yang berasal dari proses industri atau sistem pendingin dialirkan ke dalam menara dari bagian atas, sementara udara segar dihisap atau dihembuskan dari bagian bawah menara. Ketika air panas turun melalui media pendingin atau fill, udara dingin bergerak naik ke atas. Proses ini menciptakan interaksi yang efektif antara air dan udara, di mana terjadi perpindahan panas yang signifikan. Selama perjalanan air turun, sebagian dari air tersebut mengalami penguapan, yang lebih lanjut membantu menurunkan suhu air yang berada dalam sistem. Keuntungan dari desain counter flow ini adalah peningkatan efisiensi pendinginan, karena memberikan waktu lebih lama untuk interaksi antara air dan udara. Dengan cara ini, menara pendingin tipe counter flow sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kapasitas pendinginan yang tinggi dan efisiensi operasional yang optimal. (Wuryanti, S. 2021)

2.2.4 *Crossflow Cooling Tower*

Menara pendingin tipe crossflow merupakan salah satu jenis menara pendingin yang memiliki desain unik, di mana aliran udara dan aliran air bergerak dalam arah yang menyilang. Dalam konfigurasi ini, air panas yang berasal dari proses industri atau sistem pendingin dialirkan ke atas menara dan kemudian turun melalui media pendingin atau fill secara vertikal. Sementara itu, udara segar dihisap dari sisi menara dan dihembuskan secara horizontal. Proses ini menghasilkan interaksi yang efisien antara aliran udara dan air, di mana aliran udara menyilang dengan aliran air. Ketika air panas turun melalui media pendingin, ia mengalami penguapan yang signifikan, yang membantu menurunkan suhu air. Selama perpindahan ini, panas dari air dipindahkan ke udara yang mengalir, sehingga air menjadi lebih dingin saat mencapai bagian bawah menara. Desain crossflow memiliki beberapa keuntungan, termasuk distribusi udara yang merata dan pengurangan kemungkinan terjadinya stagnasi pada aliran air. Dengan meningkatkan kontak antara air dan udara, menara pendingin tipe crossflow sering kali digunakan dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi tinggi dan kapasitas pendinginan yang optimal. Penggunaan desain ini juga memungkinkan perawatan yang lebih mudah, karena akses yang lebih baik ke bagian dalam menara.

Dengan karakteristik ini, menara pendingin tipe crossflow menjadi pilihan yang populer dalam berbagai industri, mulai dari pembangkit listrik hingga sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*), di mana efisiensi dan efektivitas pengendalian suhu sangat penting. (Wuryanti, S. 2021)

2.3 Sistem Pendingin

2.3.1 Definisi Sistem Pendingin

Sistem pendingin adalah suatu rangkaian perangkat yang digunakan untuk menghilangkan panas dari suatu area, peralatan, atau proses untuk menjaga suhu tertentu atau menurunkan suhu hingga ke level yang diinginkan. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip transfer panas, di mana panas dipindahkan dari lingkungan atau objek yang lebih panas ke lingkungan yang lebih dingin, menggunakan berbagai mekanisme seperti konduksi, konveksi, radiasi, atau evaporasi. Sistem pendingin umumnya digunakan dalam aplikasi industri,

komersial, dan rumah tangga, seperti dalam pendinginan mesin, pengolahan industri, sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), dan refrigerasi. Dalam konteks menara pendingin (*cooling tower*), sistem pendingin bertugas untuk menyerap panas dari proses industri atau bangunan, dan membuangnya ke atmosfer, biasanya dengan memanfaatkan air sebagai medium pendingin. Proses pendinginan merupakan proses pemindahan energi panas yang terkandung di dalam suatu ruangan. Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka kita tidak dapat menghilangkan energi tetapi hanya dapat memindahkannya dari satu substansi ke substansi lainnya. Untuk keperluan pemindahan energi panas, dibutuhkan suatu fluida penukar kalor yang selanjutnya disebut Refrigen.(Siagian 2017)

Cooling Tower adalah sebuah alat penukar panas atau kalor dimana fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi menurunkan suhu air, Proses pendinginan dengan cara mengontakkan langsung dengan udara sehingga sebagian kecil air menguap. *Cooling tower* bekerja berdasarkan prinsip kerja pada pelepasan kalor dan perpindahan kalor.(Ayyam et al 2018) *Cooling tower* sangat dibutuhkan oleh industri sebab *cooling tower* merupakan bagian dari utilitas yang banyak digunakan. Dimana *cooling tower* memproses air yang panas menjadi air dingin yang digunakan kembali dan bisa dirotasikan. *Cooling tower* juga salah satu alat yang berfungsi mengolah air untuk mengatasi masalah polusi lingkungan. *Cooling tower* yang bekerja pada sistem pendingin udara biasanya menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air melintasi menara. Performa *cooling tower* biasanya dinyatakan dalam *range* dan *approach* .

Range adalah perbedaan suhu antara tingkat suhu air masuk *cooling tower* dengan tingkat suhu air yang keluar *cooling tower* atau selisih antara suhu air panas dan suhu air dingin, sedangkan *approach* adalah perbedaan antara tempratur air keluar *cooling tower* dengan tempratur bola basah udara yang masuk atau selisih antara suhu air dingin dan tempratur bola basah (wet bulb) dari udara atmosfer. Tempratur udara umumnya diukur dengan menggunakan thermometer biasa yang sering dikenal sebagai tempratur bola kering (dry bulb temperature), sedangkan tempratur bola basah (wet bulb temperature) adalah tempratur yang bolanya diberi kasa basah, sehingga air menguap dari kasa dan bacaan suhu pada

thermometer menjadi lebih rendah dari pada temperatur bola kering. Laju perpindahan panas konveksi pada plat rata dengan temperatur tertentu dapat ditingkatkan dengan menaikkan koefisien perpindahan panas rata-rata, menaikkan luas permukaan panas atau kedua duanya.



Gambar 2. 3 Range Dan Approach .(Ayyam et al 2018)

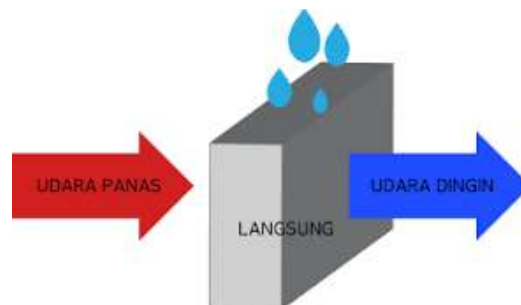
2.4 Jenis-Jenis Sistem Pendingin

Sistem pendingin dibedakan berdasarkan metode yang digunakan untuk membuang panas dari suatu proses atau area.(Wuryanti 2021) Dalam aplikasi industri dan HVAC, terdapat beberapa jenis sistem pendingin yang umum digunakan. Berikut adalah dua jenis utama sistem pendingin:

2.4.1 Pendinginan Evaporatif langsung

Dalam proses pendinginan evaporatif langsung, aliran udara yang akan didinginkan bersentuhan langsung dengan medium basah atau semprotan air. Proses ini merupakan teknik efisien untuk menurunkan suhu udara dengan memanfaatkan prinsip fisika dasar dari evaporasi. Ketika udara panas memasuki sistem pendingin evaporatif langsung, ia diarahkan melalui media basah, seperti pad atau semprotan air, di mana terjadi interaksi langsung antara aliran udara dan uap air. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.4, aliran udara memasuki pendingin evaporatif langsung melalui panah merah, dan keluar melalui panah biru. Selama proses ini, panas dari aliran udara diserap oleh air yang menguap, menyebabkan penurunan suhu udara secara signifikan. Penguapan ini tidak hanya

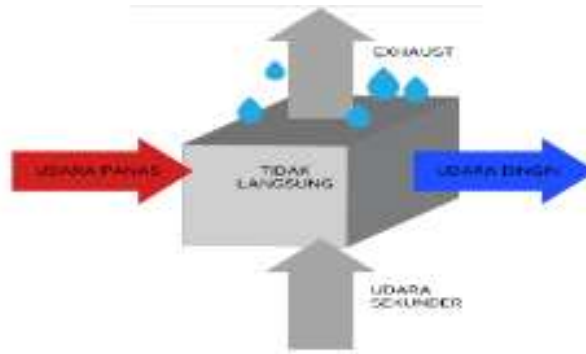
menurunkan suhu, tetapi juga meningkatkan rasio kelembaban aliran udara karena penambahan uap air ke dalam aliran. Dengan demikian, kelembaban relatif udara yang keluar dari sistem menjadi lebih tinggi, menghasilkan lingkungan yang lebih nyaman, terutama dalam iklim panas dan kering. Keunggulan dari pendinginan evaporatif langsung adalah efisiensinya yang tinggi dalam mengurangi suhu, serta pengurangan penggunaan energi dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional seperti AC. Proses ini sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem ventilasi di bangunan, pendinginan industri, dan dalam pengaturan lingkungan yang memerlukan kontrol suhu yang efektif.(Nuriyadi 2019)



Gambar 2. 4 Evaporatif langsung.(Nuriyadi 2019)

2.4.2 Pendinginan Evaporatif tak langsung.

Secara teknik disebut dengan pendinginan adiabatik yang merupakan proses pengkondisian udara yang dilakukan dengan membiarkan kontak langsung antara udara dengan uap air sehingga terjadi perubahan panas. (Hardanto and Yuniyanto 2015) Proses pendingin evaporatif tidak langsung merupakan lanjutan dari proses pendingin evaporatif langsung yaitu keluaran dari proses pendingin evaporatif langsung diteruskan melalui heat exchanger. Heat exchanger adalah tempat terjadinya perpindahan panas antara udara panas lingkungan yang mengalir dengan udara dingin yang dihasilkan pendingin evaporatif langsung. Sistem pendingin ini dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.(Lestari manalu 2017)



Gambar 2. 5 Evaporatif tak langsung. (Lestari manalu 2017)

2.5 Prinsip Kerja *Cooling Tower*

Cooling tower adalah sebuah alat pelepas kalor yang membuang panas ke atmosfer dengan mendinginkan aliran air. Cara kerja Menara Pendingin Kerja dari Menara pendingin yaitu fluida panas yang keluar dari kondensor atau heat exchanger lalu pompa menuju puncak menara untuk disemprotkan dengan nozzle, fluida panas yang disemprotkan akan jatuh mengalir mengenai bahan pengisi *cooling tower* yang digunakan untuk pemecah aliran. Di dalam menara fluida air panas mengalami kontak langsung dengan udara yang bergerak secara paksa disebabkan oleh pengaruh dari fan, ini yang disebut sebagai perubahan paksa. (Irawan 2022).

Prinsip Kerja *Cooling tower* ini beroperasi menurut prinsip difusi, dimana adanya perubahan temperatur dapat mengakibatkan perbedaan besarnya laju perpindahan massa dan panas yang terjadi. Ketika air jatuh ke bawah dan mengenai udara dari kipas maka terjadi perpindahan panas. Proses tersebut terjadi secara *continue*. Menara pendingin menggunakan penguapan dimana sebagian air diuapkan ke aliran udara yang bergerak dan kemudian dibuang ke atmosfer. Sehingga air yang tersisa didinginkan secara signifikan. Pada *cooling tower* sebagian air menguap ke udara (*kalor sensible*) berpindah dari air panas ke udara yang lebih dingin. Besarnya laju perpindahan massa dan panas dipengaruhi oleh luas daerah kontak antara fluida panas dengan udara, kecepatan fluida dan temperatur fluida. Kedua proses itulah yang mengakibatkan turunnya temperatur air. Dan untuk menjaga keseimbangan air, kita hanya perlu menambahkan air (*make up water*) untuk menggantikan air yang hilang karena

penguapan atau terbawa oleh udara. Adapun Prinsip Kerja Menara Pendingin. Sistem Kerja Menara Pendingin (Effendi & Saputra, 2020) Air dari bak di pompa menuju *heater* untuk dipanaskan untuk keperluan industri dan setelah proses industri air di alirkan menuju *cooling tower*. Air panas yang keluar tersebut secara langsung melakukan kontak dengan udara sekitar yang bergerak secara paksa karena pengaruh *fan* yang terpasang pada bagian atas *cooling tower*, lalu mengalir jatuh ke bahan pengisi (*fill*). Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami penurunan suhu ditampung ke dalam bak. Di dalam *cooling tower* dipasang *make up water* untuk menambah kapasitas air pendinginan jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* sedang berlangsung.

Banyak studi yang telah melakukan evaluasi karakteristik kinerja berdasarkan parameter input, seperti laju aliran air dan udara, ketinggian menara, dan suhu air masuk, faktor lingkungan, faktor desain menara pendingin, menjadi dasar dari banyak penelitian menara pendingin. Kinerja menara pendingin ditunjukkan oleh parameter-parameter seperti Range, efektivitas, ϵ , koefisien perpindahan panas dan massa global, K_a , dan laju penguapan, M_{ev} , Karakteristik menara. (Umurani et al., 2023)

2.5.1 Range

Range merupakan perbedaan antara suhu air masuk (T_{wi}) dan suhu air keluar (T_{wo}) dari menara pendingin. Dalam konteks ini, semakin tinggi nilai range, semakin efektif menara pendingin dalam menurunkan suhu air, yang menunjukkan kinerja yang baik. Range yang tinggi menunjukkan bahwa menara pendingin berhasil mengekstraksi lebih banyak panas dari air, yang dapat berdampak positif pada efisiensi operasional sistem pendinginan secara keseluruhan. Rumus untuk menghitung range pada menara pendingin adalah sebagai berikut:

$$Range = T_{wi} - T_{wo} \quad (2.1)$$

2.5.2 Approach

Approach Merupakan perbedaan antara suhu air dingin keluar menara (T_{wi}).

Suhu ini mengacu pada kondisi lingkungan sekitar (ambient), *wet bulb ambien* (T_{wbi}). Semakin rendah *approach* semakin baik kinerja menara pendingin. Walaupun *range* dan *approach* harus dipantau, *approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja menara pendingin. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Approach = T_{wi} - T_{wbi} \quad (2.2)$$

2.5.3 Efektivitas

Merupakan perbandingan antara *range* dan penjumlahan antara *range* dan *approach*. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas *cooling tower*. Perhitungan efektivitas dilakukan menggunakan persamaan berikut ini:

$$e = \frac{T_{wi} - T_{wo}}{T_{wi} - T_{wb1}} \quad (2.3)$$

Dimana T_{wbi} suhu bola basah udara lingkungan

2.5.4 Laju kehilangan penguapan air

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 berikut ini, dimana (m_a) laju aliran massa udara (ω_o) kelembaban udara keluar Menara dan (ω_i) kelembaban mutlak udara masuk Menara .

$$m_{ev} = m_a (\omega_o - \omega_i) \quad (2.4)$$

2.5.5 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 berikut:

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

2.5.6 Karakteristik menara

Perpindahan panas di menara pendingin melibatkan dua mekanisme utama, yaitu perpindahan panas sensibel dan perpindahan panas evaporatif. Perpindahan panas sensibel terjadi ketika suhu air berubah tanpa adanya perubahan fase, sementara perpindahan panas evaporatif melibatkan perubahan fase air menjadi uap, yang menyebabkan penurunan suhu air yang lebih efektif. Selain itu, pengangkutan massa uap air ke udara merupakan aspek tambahan dari perpindahan panas evaporatif, yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi sistem pendinginan. (Umurani et al., 2023)

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

2.6 Bahan Pengisi *Cooling Tower*

Filling material (Filler) Filling material (Filler) merupakan bagian paling berpengaruh dari menara pendingin yang berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara yang bergerak naik. Air masuk yang mempunyai suhu yang cukup tinggi () akan disemprotkan ke filling material. Pada filling material inilah air yang mengalir turun ke 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. (Jamaludin et al., 2022) Terdapat tiga jenis bahan pengisi:

2.6.1 Media pengisi pemercik (*Splash Fill*)

Media pengisi splash menciptakan area perbindahan panas yang dibutuhkan melalui pemercik air di atas media pengisi menjadi butiran air kecil. Luas permukaan butiran air adalah luas permukaan perpindahan panas dengan udara.

2.6.2 Media pengisi film (*Film Fill*)

Pada pengisi film Fill, air membentuk lapisan tipis pada sisi-sisi lembaran pengisi. Luas-permukaan dari lembaran pengisi adalah luas perpindahan panas dengan udara sekitar. Bahan pengisi Film fill dapat menghasilkan penghematan listrik yang signifikan melalui kebutuhan air yang lebih sedikit dan head pompa yang lebih kecil.

2.6.3 Bahan pengisi sumbatan rendah (Low-clog film fills)

Bahan pengisi sumbatan rendah dengan ukuran flute yang lebih tinggi saat ini dikembangkan untuk menangani air yang keruh. Jenis ini merupakan pilihan 18 terbaik untuk air laut karena adanya penghematan daya dan kinerjanya dibandingkan tipe bahan pengisi pemercik konvensional

Sudut *fill* cooling tower

2.7 Sudut Kemiringan *Fill*

Susunan atau konfigurasi sekat dalam menara pendingin memiliki peran krusial dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem pendinginan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yulianto dan Urbiantoro, mereka merancang sebuah menara pendingin skala laboratorium yang mengikuti tipe shell dan tube, dengan fokus pada perbandingan luas bidang kontak antara air dan udara. Penelitian ini tidak hanya meneliti pengaruh sudut kemiringan sekat terhadap efisiensi menara pendingin, tetapi juga melakukan analisis komparatif mengenai karakteristik menara pendingin yang menggunakan berbagai tipe susunan pipa sebagai media pendistribusi cairan. Lebih lanjut, penelitian ini mengeksplorasi perbedaan antara tipe sekat horisontal dan vertikal untuk memahami dampaknya terhadap kinerja keseluruhan sistem pendinginan (Ardani, Qiram, dan Rubiono, 2018).

Sekat-sekat dalam menara pendingin menjadi salah satu elemen kunci yang menentukan efektivitas proses pendinginan. Dengan merujuk pada berbagai penelitian sebelumnya yang telah mengkaji komponen sekat ini, ada peluang untuk melakukan modifikasi yang signifikan pada desain sekat menara pendingin guna meningkatkan kinerjanya. Alur sekat, yang mempengaruhi luas bidang kontak dan aliran tetes air, sangat berperan dalam meningkatkan interaksi antara air dan udara pendingin. Dengan meningkatkan waktu kontak antara kedua media ini, kita dapat memaksimalkan efisiensi perpindahan panas, yang merupakan inti dari proses pendinginan yang efektif.

Lebih lanjut, laju pendinginan pada menara draft mekanis dipengaruhi oleh sejumlah parameter, termasuk diameter fan, kecepatan operasi, serta jenis bahan pengisi yang digunakan dalam sistem. Parameter-parameter ini saling berinteraksi dan berkontribusi pada kinerja keseluruhan menara pendingin. Oleh karena itu,

pemahaman yang mendalam tentang faktor-faktor ini sangat penting untuk merancang sistem pendinginan yang optimal dan efisien. Dengan pendekatan yang tepat, modifikasi desain sekat dan pemilihan parameter operasional dapat menghasilkan peningkatan signifikan dalam efisiensi pendinginan, yang pada akhirnya berdampak positif pada performa keseluruhan sistem industri.

2.8 Komponen Menara Pendingin

Konstruksi cooling tower secara garis besar terdiri dari beberapa komponen dasar yang meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, bak penampung air, eliminasi aliran, saluran masuk, louvers, nozzle dan fan. (Effendi & Saputra, 2020)

1. Wadah atau Rangka

Casing atau rumah *cooling tower* berfungsi sebagai rumah dari komponen-komponen *cooling tower* sehingga harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca agar komponen awet dan memiliki umur pakai (*life time*) yang lama. Pada umumnya wadah atau rangka (wadah dan kolam) nya terbuat dari baja atau galvalum atau, pada dasar tidak korosif, menara atau dasar nya di buat dari *stainless steel*. Menara yang lebih besar kadang kala terbuat dari beton.



Gambar 2. 6 Wadah Atau Rangka

2. Blower / fan

Berfungsi untuk menarik udara yang bertujuan untuk mendinginkan air, jika *fan* atau blower tidak berfungsi dengan baik maka kinerja *cooling tower* tidak optimal, *fan* ini di gerakkan oleh sebuah motor listrik langsung pada poros kipasnya, dua jenis *fan* yang biasa digunakan, *fan* aksial (jenis baling baling) dan *fan* sentrifugal. Bahan yang digunakan untuk *fan* adalah jenis *aluminium*, *fiber glass* dan baja galvalum, *plastic* yang diperkuat oleh *fiber glass* cetak.



Gambar 2. 7 fan

3. Bahan Pengisi (*Fill*)

Menara pendingin pada umumnya menggunakan bahan pengisi (*fill*) yang terbuat dari bahan plastik dan kayu, yang berfungsi sebagai sarana perpindahan panas dengan memaksimalkan kontak udara dan air, memecah air menjadi butiran-butiran sehingga proses pemindahan kalor menjadi lebih efisien. Ada dua jenis bahan pengisi bahan pengisi berbentuk percikan (*splash fill*) dan bahan pengisi berbentuk film (*film fill*).



Gambar 2. 8 splash fill



Gambar 2. 9 jenis film fill

4. Pipa *Sprinkler*

Pipa *sprinkler* adalah pipa berlubang kecil-kecil yang kemudian di satukan ke dalam *head sprinkler* yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada *cooling tower*, sehingga perpindahan kalor air dapat menjadi efektif dan efisien.



Gambar 2. 10 Pipa Sprinkler

5. Inlet Louver

Menara pendingin juga dilengkapi dengan komponen yang disebut inlet louver. Fungsi utama inlet louver adalah sebagai tempat masuknya udara ke dalam menara pendingin. Oleh karena itu, inlet louver dirancang dengan banyak lubang. Dengan adanya inlet louver pada menara pendingin, kualitas dan kuantitas air dapat terlihat dengan jelas.

6. Penampung Air (*Water Basin*)

Penampung air berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali.



Gambar 2. 11 Penampung Air

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

3.1.1. Tempat Penelitian

Tempat pelaksanaan proses pembuatan dan pengujian prototipe *cooling tower* dilakukan dilaboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera, Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan analisa ini dimulai dari persetujuan yang diberikan oleh pembimbing, pembuatan alat prototipe serta merangkainya, pengambilan data hingga pengolahan data sampai dinyatakan selesai diperkirakan lima (6) bulan.

Tabel 3.1. Waktu Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■	■	■			
2	Rancang Bangun		■	■	■		
3	Pengujian Alat			■	■	■	
4	Analisa Data				■	■	■
5	Evaluasi dan Penyelesaian Penulisan					■	■
6	Penyusunan Skripsi						■

3.2 Alat Pengujian

3.2.1 Peralatan Pengujian

Adapun alat alat yang digunakan dalam pengujian *cooling tower* ini adalah

1. Cooling Tower



Gambar 3. 1 *Cooling Tower*

2. Komputer

Komputer ini digunakan sebagai pusat kontrol dan pemantauan data dalam sistem. Spesifikasinya memungkinkan pengoperasian perangkat lunak yang diperlukan untuk memproses dan menampilkan informasi dari sensor yang terhubung.

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



Gambar 3. 2 komputer

3. Arduino Uno

Arduino digunakan sebagai modul sensor pada prototipe cooling tower. Data dari sensor ini langsung ditampilkan secara real-time di layar komputer.

- Sensor debit air mengukur jumlah air yang mengalir dalam cooling tower.
- Sensor suhu mengukur suhu air masuk dan keluar.

ini membantu memantau kinerja cooling tower, dan hasilnya langsung diperbarui pada komputer.



Gambar 3. 3 Arduino Uno

4. Pompa air

Pompa ini berfungsi mengambil air dari basin atau tangki di bawah menara pendingin, lalu mengirimkannya kembali ke atas untuk disemprotkan ke fill material. Proses ini menjaga sirkulasi air dalam sistem pendinginan, sehingga panas dapat dibuang secara efektif melalui kontak dengan udara. Dalam menara pendingin, pompa memiliki peran penting untuk memastikan aliran air tetap tersirkulasi.



Gambar 3. 4 pompa

5. Flow Meter

Flow meter adalah alat untuk mengukur volume atau laju aliran air dalam sistem. Pada menara pendingin, alat ini penting untuk memastikan air mengalir sesuai kebutuhan saat pengujian dilakukan. Pengukuran yang akurat membantu mengatur debit air. Flow meter dipasang di pipa utama antara pompa air dan menara pendingin.



Gambar 3. 5 Flow Meter

6. Busur Derajat

Busur Derajat adalah alat bantu yang digunakan untuk mengukur derajat kemiringan pada fill. Alat ini sangat penting karena ini alasan nya penelitian ini dilakukan untuk memastikan bahwa sudut kemiringan diatur dengan presisi, Dengan menggunakan busur derajat, pengaturan sudut kemiringan dapat dilakukan secara akurat, yang berpengaruh pada penelitian.



Gambar 3. 6 Busur Derajat

7. Katup

Dengan menyesuaikan bukaan katup, debit air yang masuk atau keluar dari sistem dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan operasional. Pengaturan ini penting untuk memastikan bahwa laju aliran air.

yang dibutuhkan sesuai, sehingga transfer panas berjalan optimal. Dalam penelitian atau pengujian menara pendingin.



Gambar 3. 7 katup

8. Water Heater

Khususnya dalam konteks pengujian atau penelitian. Alat ini memastikan bahwa air mencapai suhu tertentu sebelum dimasukkan ke dalam menara pendingin, sehingga dapat mensimulasikan kondisi operasi nyata di mana air panas perlu didinginkan. Pemanasan air dengan water heater memungkinkan untuk mengatur suhu air masuk yang diperlukan dalam penelitian.



Gambar 3. 8 Water Heater

9. Blower.

Blower digunakan untuk mengalirkan udara ke dalam menara pendingin. Fungsi utama blower adalah untuk memasukan udara dan mensimulasikan aliran udara yang melewati filling material di dalam menara pendingin, sehingga proses pertukaran panas antara air dan udara dapat berlangsung.

Blower juga penting dalam menciptakan aliran udara yang konsisten dan terkontrol,



Gambar 3. 9 Blower

10. Thermo Hygrometer

Thermo hygrometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu air, suhu udara, dan suhu lingkungan. data, alat ini digunakan sebagai Kalibrasi terhadap sensor arduino uno atau bisa juga bahan koreksi terhadap *error*.



Gambar 3. 10 Thermo hygrometer

11. *Fiell* jenis percikan (*Splash fill*)

Splash fill adalah jenis bahan pengisi dalam menara pendingin yang terbuat dari plastik untuk meningkatkan perpindahan kalor antara air dan udara.



Gambar 3. 11 *Fiell* jenis percikan (*Splash fill*)

12. Termometer Air Raksa

Termometer air raksa adalah alat pengukur suhu yang memanfaatkan raksa sebagai media untuk pengukuran suhu air secara manual, berkat akurasinya dan kemampuannya untuk memberikan pembacaan yang konsisten.



Gambar 3. 12 Termometer Air Raksa

13. Sensor DS18B20

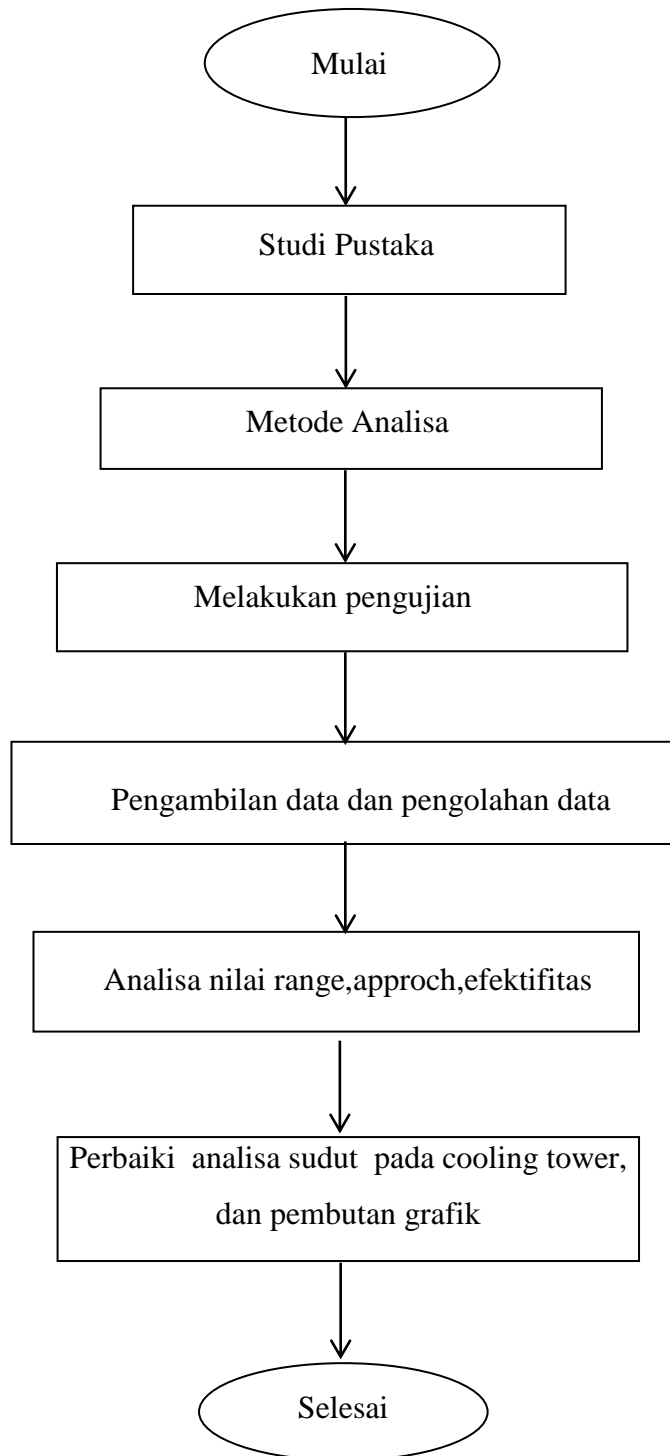
DS18B20 digunakan sebagai sensor pengukur suhu air masuk maupun keluar.



Gambar 3. 13 DS18B20

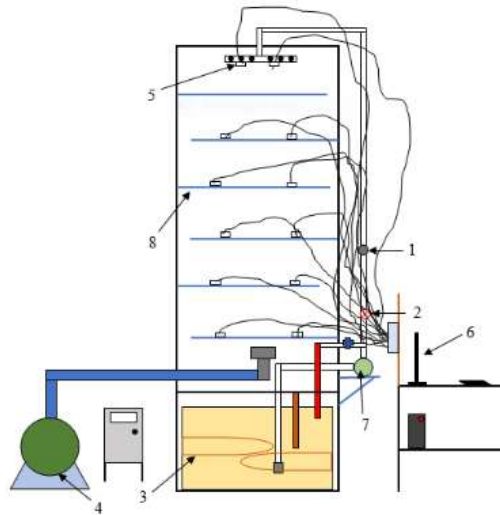
3.3 Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 3. 14 Bagan Alir Penelitian

3.4 Komponen Alat Penelitian



Gambar 3 15 Skema alat penelitian

Keterangan

1. Water Flow sensor, untuk mengukur laju aliran air.
2. Kran air untuk mengatur jumlah debit yang akan divariasi.
3. Water Heater, untuk memanaskan air didalam bak penampung.
4. Blower untuk mengalirkan udara kedalam menara pendingin.
5. Sensor DS18B20, untuk mengukur suhu air dengan arduino.
6. Komputer digunakan untuk pengambilan data.
7. Pompa air untuk mensirkulasikan air keatas menara pendingin.
8. Fill berjumlah 6 tingkat, yang digunakan sebagai media jenis percikan pada pengujian cooling tower

3.5 Prosedur Penelitian

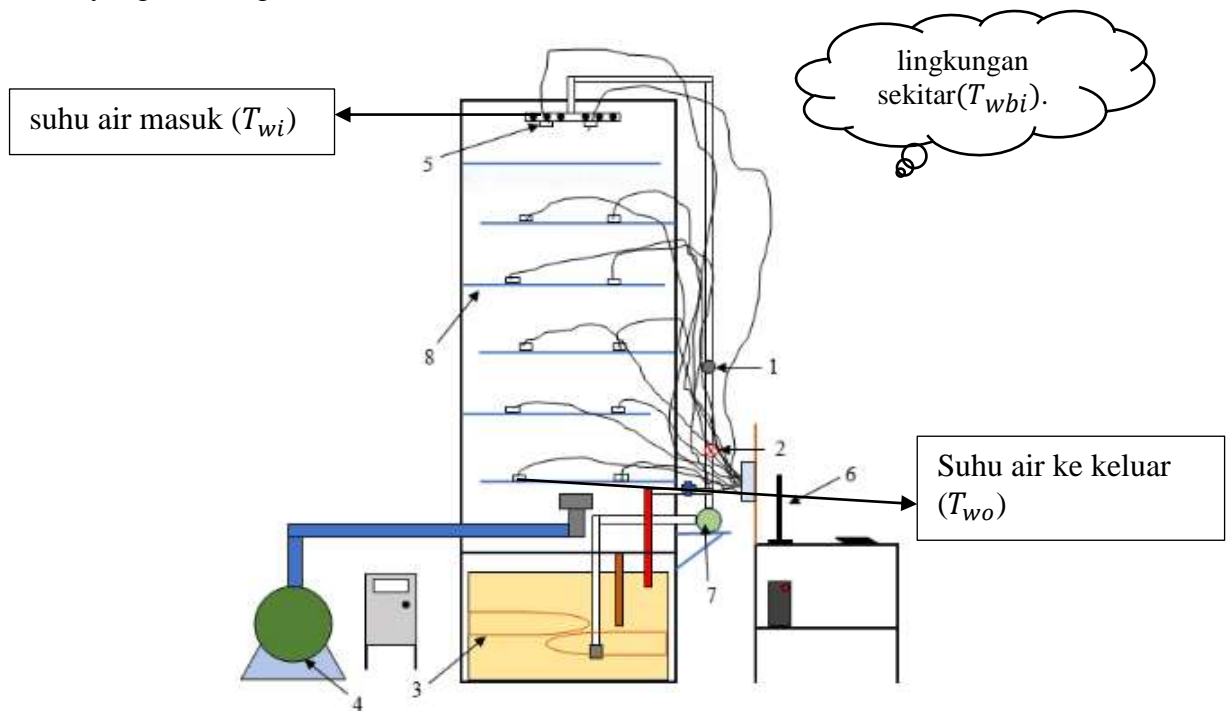
3.5.1 Langkah Langkah Penelitian

yang dilakukan dalam melakukan prosedur penelitian cooling tower ini sebagai berikut :

Langkah - langkah yang dilakukan dalam melakukan prosedur pengujian prototipe cooling tower ini sebagai berikut :

1. Isi air pada ember penampung \pm 36 liter
2. Atur sudut fiell 10° , 20° , 30° dengan menggunakan busur derajat

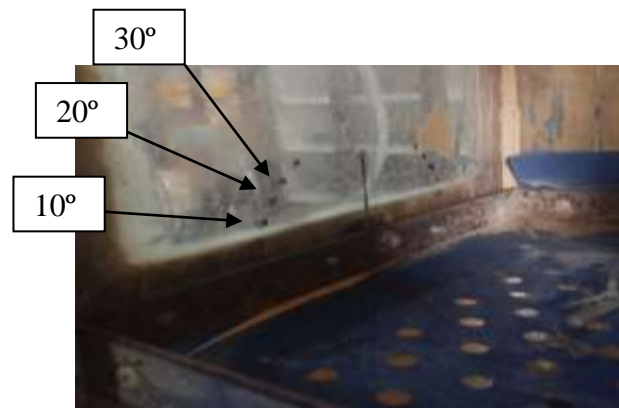
3. Hidupkan heater untuk memanaskan air pada bak penampung
4. Setelah temperatur air bernilai 35, 38, 41, 44, 47, 50 °C, maka nyalakan pompa dan blower. Kemudian sirkulasikan air panas menuju cooling tower melalui pipa pvc yang telah terpasang
5. Ukur debit air yang mengalir menggunakan flow meter
6. Gunakan thermometer thermocouple untuk mengukur temperatur air panas yang masuk dan temperatur air dingin yang keluar dari cooling tower
7. Pasang 2 buah thermometer air raksa untuk mengetahui nilai temperatur drybulb dan wet bulb udara masuk
8. Catat nilai kelembaban dan temperatur drybulb udara keluar yang muncul pada monitor data logger
9. Save data hasil pembacaan alat selama selang waktu 5 menit, 10 menit, 20 menit, dan seterusnya
10. Lakukan pengujian pada 3 variasi waktu, yaitu pagi, siang, dan sore hari
11. Lakukan pembacaan diagram psikrometrik untuk mendapatkan nilai entalpi, kelembaban relatif, rasio kelembaban, dan volume spesifik
12. Apabila proses pengujian selesai dilakukan, maka matikan semua peralatan yang telah digunakan.



Gambar 3. 16 sekema cooling tower

3.6 Variasi Sudut *Fill*

Tiga variasi sudut yang akan di uji adalah 10° , 20° , dan 30° . Gambar dibawah memperlihatkan posisi 0 derajat sebelum dilakukan variansi sudut dan titik hitam menandakan kenaikan derajat dan titik hitam tersebut sengaja di buat agar mempermudah dalam pengujian Setiap percobaan akan dilakukan dengan cara berikut:



Gambar 3. 17 sudut fill 0°

3.2.1 *Fill* Sudut 10°

Fill di atur pada sudut 10° dengan menggunakan alat bantu ukur berupa busur. Ini di bedakan dengan memposisikan *fill* pada titik hitam pertama Setelah pengaturan sudut selesai, mesin WTC (Wet Cooling Tower) dihidupkan untuk memulai percobaan.



Gambar 3. 18 sudut fill 10°

3.2.2 *Fill* Sudut 20°

Fill di atur pada sudut 20° dengan menggunakan alat bantu ukur berupa busur. Ini di bedakan dengan memposisikan *fill* pada titik hitam ke dua di atas

titik ke satu. Setelah pengaturan sudut selesai, mesin WTC (Wet Cooling Tower) dihidupkan untuk memulai percobaan.



Gambar 3. 19 sudut fill 20°

3.2.3 *Fill* Sudut 30°

Fill di atur pada sudut 30° dengan menggunakan alat bantu ukur berupa busur. Ini di bedakan dengan memposisikan *fill* pada titik hitam ke tiga di atas titik ke dua. Setelah pengaturan sudut selesai, mesin WTC (Wet Cooling Tower) dihidupkan untuk memulai percobaan.



Gambar 3. 20 sudut fill 30°

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Hasil Penelitian

Setelah tahap pengujian selesai, data yang telah dikumpulkan akan dianalisis. Tahap selanjutnya adalah evaluasi, yang melibatkan pengumpulan dan validasi data yang diperlukan untuk analisis statik pada cooling tower. Dengan bimbingan dosen pembimbing, evaluasi ini dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, menggunakan laptop dan flashdisk untuk menyimpan serta mengolah data.

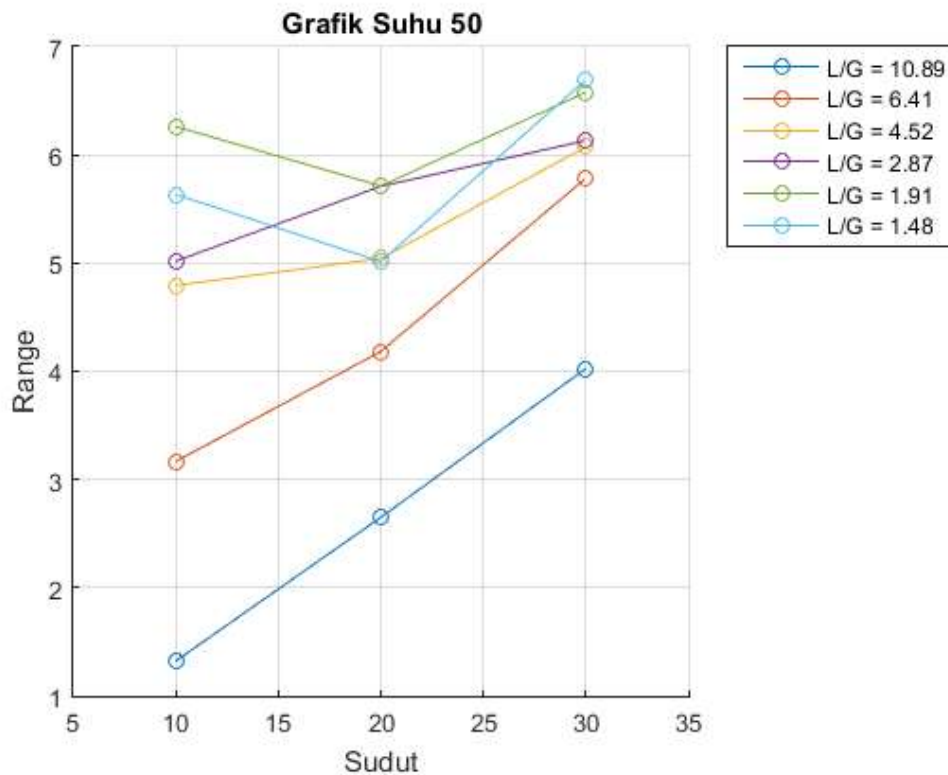
Pengujian ini mencakup pengukuran *range*, *approach*, *Me*, *Mev* dan *efektivitas* pada cooling tower dengan sistem wet cooling. Data yang dihasilkan mencakup suhu air dan debit aliran air yang diperoleh secara real-time selama operasi cooling tower. Pengujian dilakukan pada tiga sudut kemiringan fill, yaitu 10°, 20°, dan 30°, untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja sistem. Dari hasil pengujian ini, diperoleh data suhu air masuk (*Tin*) dan keluar (*Tout*) dari cooling tower. Semakin besar selisih antara *Tin* dan *Tout*, semakin baik kinerja cooling tower, yang menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara efektif.

Selain itu, suhu air dingin yang keluar dari cooling tower (*Tout*) dibandingkan dengan suhu bola basah udara di sekitar menara pendingin (*TWBamb*) untuk menilai kinerja pendinginan. *L/G* adalah perbandingan antara cairan dan udara (liquid / gas). Data diambil setiap 10 menit selama pengujian berlangsung, sehingga menghasilkan data yang akurat dan berkualitas untuk analisis lebih lanjut.

Proses pengujian ini difokuskan pada perpindahan panas, *range*, *approach*, *Me*, *Mev* dan *efektivitas* cooling tower. Semua pengujian dan pengamatan dilakukan di Laboratorium Prestasi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dari serangkaian pengujian ini, data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk grafik untuk memudahkan visualisasi dan analisis lebih lanjut mengenai kinerja cooling tower.

4.2 Pembahasan

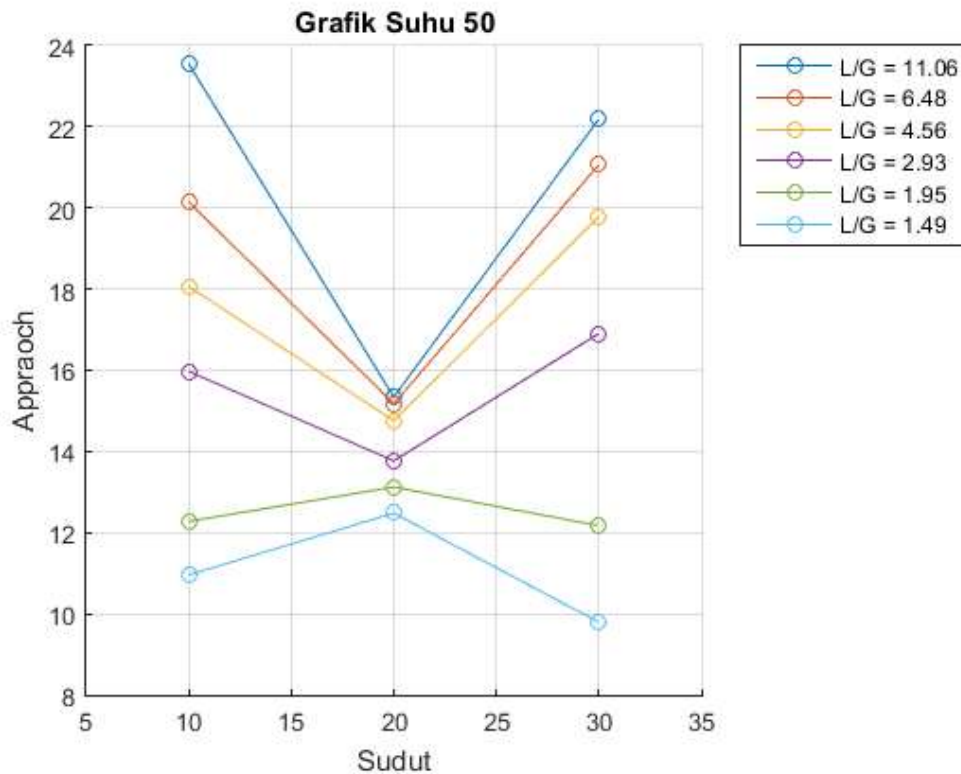
4.2.1 Pengaruh Sudut Terhadap Range Cooling Tower.



Gambar Grafik 4. 1 Pengaruh sudut terhadap Range

Dari Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh sudut pada Range dimana debit aliran air nya 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37 °C. semakin tinggi nilai L/G, range juga semakin tinggi. Misalnya, garis biru (L/G = 10.89) menunjukkan kenaikan range yang cukup signifikan dari sudut 10° hingga 30°, dari range sekitar 4 hingga mendekati 6,5. Untuk L/G yang lebih kecil seperti 1.48 (garis hijau), range relatif stabil di sekitar nilai 6, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan peningkatan sudut. Beberapa garis seperti L/G = 2.87 dan 4.52 menunjukkan fluktuasi pada sudut 20°, dengan peningkatan atau penurunan range dibandingkan sudut lainnya. Grafik ini membantu dalam melihat pengaruh sudut terhadap range pada berbagai rasio L/G. Umumnya, untuk rasio L/G yang lebih besar (misalnya 10.89), range meningkat dengan sudut yang lebih besar, sementara untuk L/G yang lebih rendah (misalnya 1.48), range cenderung stabil.

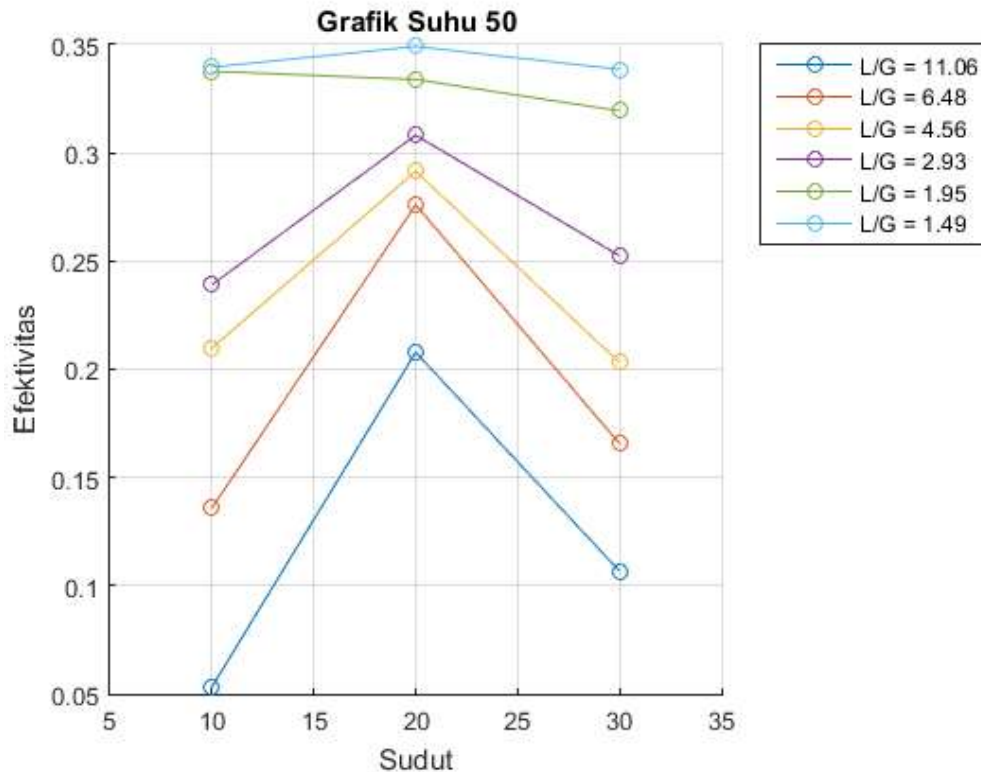
4.2.2. Pengaruh Sudut Terhadap Approach Cooling Tower



Gambar Grafik 4. 2 Pengaruh sudut terhadap Approach

Dari Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh sudut pada Approach dimana debit aliran air nya 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37 °C. Pada sudut 10 dan 30 derajat, nilai Approach meningkat untuk semua rasio L/G, terutama untuk L/G yang lebih tinggi seperti 11.06, yang mencapai nilai maksimal sekitar 24. Pada sudut 20 derajat, semua rasio L/G mengalami penurunan nilai Approach, yang berarti pada sudut ini, cooling tower beroperasi dengan lebih efisien. Rasio L/G yang lebih tinggi (seperti 11.06) memiliki fluktuasi yang lebih signifikan dibandingkan rasio L/G yang lebih rendah (seperti 1.49), yang lebih stabil di seluruh rentang sudut. Pada sudut 20 derajat, sistem menunjukkan performa terbaik dengan nilai Approach yang paling rendah untuk semua rasio L/G, artinya ini adalah sudut optimal untuk cooling tower pada suhu 50 derajat. Rasio L/G yang lebih tinggi menunjukkan variasi yang lebih signifikan dalam nilai Approach, dengan penurunan yang tajam di sudut optimal. Sebaliknya, rasio L/G yang lebih rendah lebih stabil, tetapi tetap menunjukkan peningkatan efisiensi pada sudut 20 derajat.

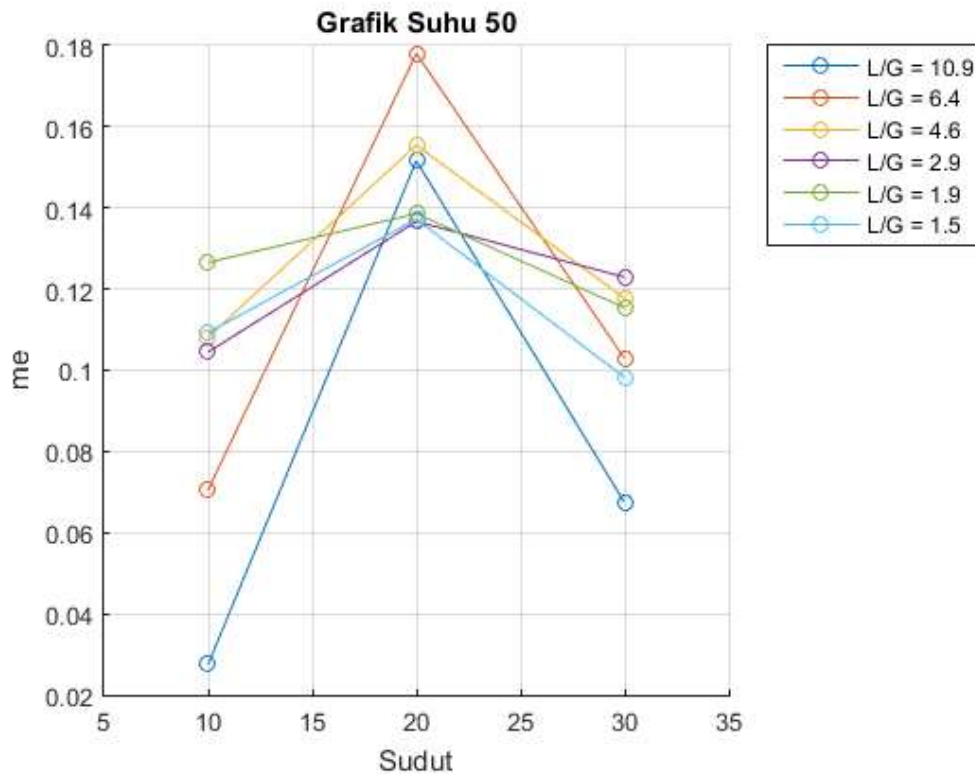
4.2.3. Pengaruh sudut Terhadap Efektivitas cooling tower



Gambar Grafik 4. 3 Pengaruh sudut terhadap Efektivitas

Dari Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh sudut pada Efektivitas dimana debit aliran air nya 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37 °C. Pada sudut 20 derajat, semua rasio L/G mencapai nilai efektivitas tertinggi, menandakan bahwa ini adalah sudut optimal untuk efektivitas cooling tower. L/G yang lebih tinggi (seperti 11.06) menunjukkan fluktuasi yang lebih besar, terutama pada sudut 10 derajat yang memiliki efektivitas rendah, tetapi mencapai puncaknya pada sudut 20 derajat. L/G yang lebih rendah (seperti 1.49 dan 1.95) menunjukkan nilai efektivitas yang lebih stabil di seluruh rentang sudut. Sudut 20 derajat merupakan sudut yang paling optimal dalam hal efektivitas, karena semua rasio L/G mencapai nilai tertinggi di sini. Rasio L/G yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan yang signifikan pada sudut 20 derajat tetapi lebih fluktuatif pada sudut lainnya. Rasio L/G yang lebih rendah lebih stabil tetapi tetap menunjukkan tren peningkatan di sudut optimal. Grafik ini menunjukkan bahwa variasi sudut memiliki dampak yang signifikan terhadap efektivitas cooling tower, dengan sudut 20 derajat sebagai titik optimal untuk kinerja maksimal.

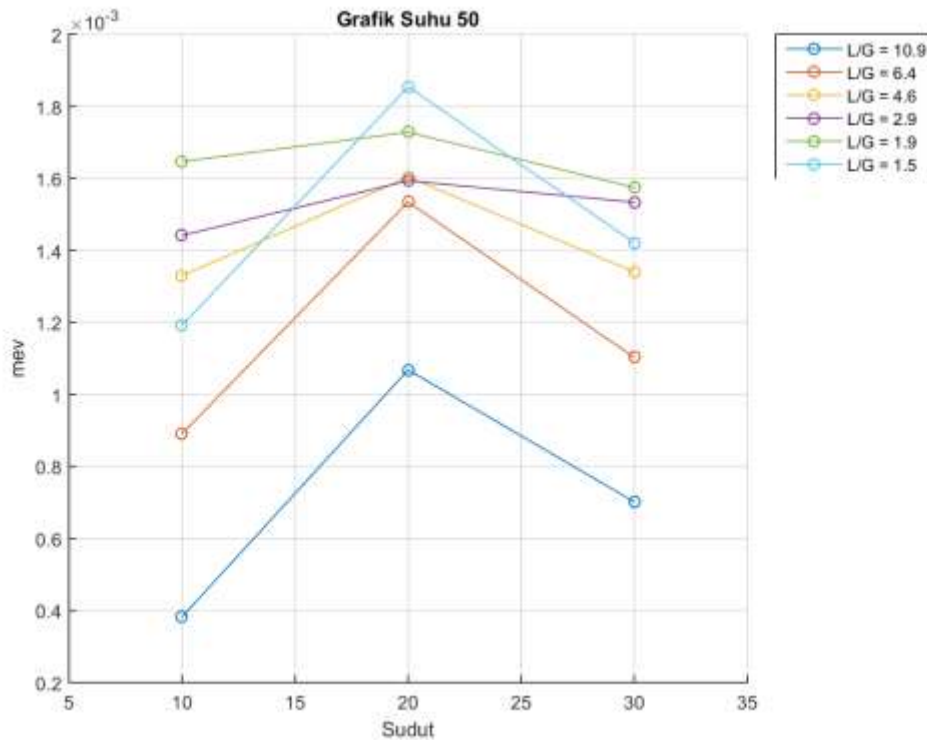
4.2.4 Pengaruh sudut terhadap Me cooling tower



Gambar Grafik 4. 4 Pengaruh sudut terhadap Me

Dari Gambar 4.4 menunjukkan pengaruh sudut pada Me dimana debit aliran air nya 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37 °C. Sudut 20 derajat menjadi titik optimal untuk cooling tower, karena semua rasio L/G mencapai nilai Me tertinggi pada sudut ini. Pada L/G= 11.06 memperlihatkan fluktuasi karakteristik menara (Me) yang lebih besar. Pada sudut kemiringan fill sebesar 10 derajat, tetapi mencapai puncaknya pada sudut fill (optimal) 20 derajat. L/G Rendah (1.49 dan 1.95) Menunjukkan nilai Me yang lebih stabil di seluruh rentang sudut fill, meskipun secara umum lebih rendah dari pada L/G tinggi. Variasi sudut memiliki dampak signifikan terhadap Me cooling tower, dengan sudut fill 20 derajat sebagai titik optimal untuk kinerja maksimal. Rasio L/G yang lebih tinggi (11.06) memberikan peningkatan Me yang signifikan pada sudut optimal, tetapi juga menunjukkan fluktuasi yang lebih besar pada sudut lainnya. Rasio L/G yang lebih rendah (1.49 dan 1.95) memberikan nilai Me yang lebih stabil di berbagai sudut fill, meskipun nilainya tidak setinggi L/G yang lebih tinggi pada sudut fill yang optimal.

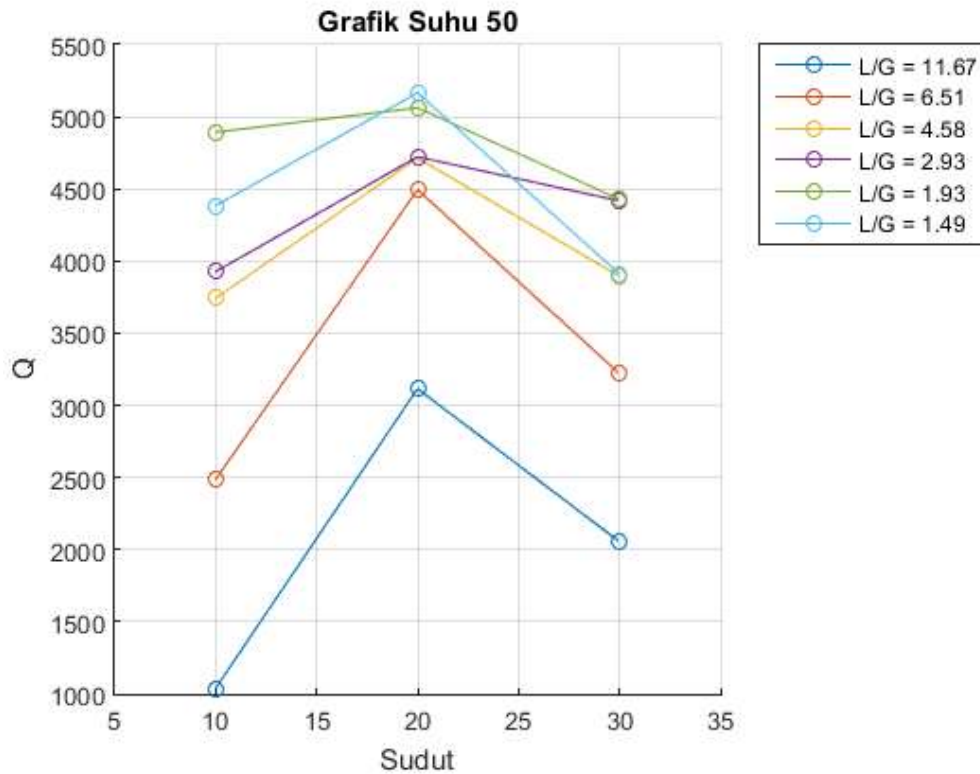
4.2.5 Pengaruh sudut fill Terhadap Mev cooling tower



Gambar Grafik 4. 5 Pengaruh suhu air masuk terhadap Mev

Dari Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh sudut fill pada Mev dengan debit aliran air 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37°C . Secara umum, semakin tinggi nilai L/G, pola grafik mev juga menunjukkan pola yang lebih bervariasi. Misalnya, garis biru (L/G = 10.9) menunjukkan peningkatan mev yang signifikan dari sudut fill 10° hingga 20° , dengan nilai mev meningkat dari sekitar 0.4 hingga mendekati 1.8, namun menurun drastis saat sudut fill berada pada 30° . Hal ini menunjukkan bahwa L/G yang lebih tinggi sangat sensitif terhadap perubahan sudut kemiringan fill, dengan sudut fill optimal sekitar 20° . Untuk rasio L/G yang lebih kecil seperti 1.5 (garis hijau), mev relatif stabil di sekitar nilai 1.5 hingga 1.6, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan peningkatan sudut fill. Ini menunjukkan bahwa pada rasio L/G yang lebih rendah, sudut kemiringan fill memiliki dampak yang lebih kecil terhadap cooling tower. Untuk rasio L/G yang lebih besar (misalnya 10.9), mev cenderung meningkat pada sudut fill yang lebih besar hingga 20° , namun mengalami penurunan pada sudut fill 30° . Di sisi lain, untuk rasio L/G yang lebih rendah seperti 1.5, nilai mev cenderung stabil dan tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan sudut fill.

4.2.6 Pengaruh sudut fill Terhadap Q cooling tower



Gambar Grafik 4. 6 Pengaruh suhu air masuk terhadap Q

Dari Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh sudut fill pada Q dengan debit aliran air 11 ltr/m dengan suhu air masuk 50°C suhu keluar 37 °C. Grafik Q menunjukkan variasi yang lebih signifikan. Misalnya, garis biru muda ($L/G = 11.67$) menunjukkan peningkatan Q yang signifikan dari sudut pengisian 10° hingga 20°, dengan nilai Q meningkat dari sekitar 1000 menjadi mendekati 3000. Namun, ketika sudut Fiell mencapai 30°, nilai Q kembali menurun. Hal ini menunjukkan bahwa rasio L/G yang lebih tinggi sangat sensitif terhadap perubahan sudut kemiringan fiell, dengan sudut optimal berada pada 20°. Untuk rasio L/G yang lebih kecil seperti 1.49 (garis kuning), nilai Q relatif stabil di sekitar 4000 hingga 5000, tidak menunjukkan perubahan yang signifikan ketika sudut pengisian meningkat. Secara keseluruhan, untuk rasio L/G yang lebih besar (misalnya 11.67), Q cenderung meningkat pada sudut pengisian hingga 20°, namun menurun ketika sudut mencapai 30°. Di sisi lain, untuk rasio L/G yang lebih rendah seperti 1.49, nilai tetap stabil dan tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan sudut isian.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan:

1. Range kinerja WCT bervariasi tergantung pada rasio L/G. Rasio L/G yang lebih tinggi menunjukkan peningkatan range yang signifikan, sedangkan rasio L/G yang lebih rendah cenderung menghasilkan range yang lebih stabil.
2. Nilai approach dipengaruhi oleh sudut fill dan rasio L/G. Pada rasio L/G yang lebih tinggi, peningkatan sudut menyebabkan puncak performa pada sudut tertentu, sedangkan pada rasio L/G yang lebih rendah nilai approach cenderung lebih stabil.
3. Pada sudut 20 derajat, efektivitas WCT mencapai puncaknya untuk sebagian besar rasio L/G. Rasio L/G yang lebih rendah menunjukkan lebih stabil pada berbagai sudut.
4. Nilai Me dengan sudut fill 20 derajat sebagai titik optimal untuk kinerja maksimal. Rasio L/G yang lebih rendah (1.49 dan 1.95) memberikan nilai Me yang lebih stabil di berbagai sudut fill, meskipun nilainya tidak setinggi L/G yang lebih tinggi pada sudut fill yang optimal.
5. Nilai Mev cenderung meningkat pada sudut fill yang lebih besar hingga 20°, namun mengalami penurunan pada sudut fill 30°. Di sisi lain, untuk rasio L/G yang lebih rendah seperti 1.5, nilai mev cenderung stabil dan tidak terlalu terpengaruh oleh perubahan sudut fill.
6. Nilai Q sudut kemiringan fill untuk cooling tower dengan variasi rasio (L/G) adalah 20°, karena pada titik ini, semua rasio menunjukkan peningkatan performa tertinggi.

5.2 Saran

Selama melakukan penelitian penulis banyak mendapatkan pengalaman dan ilmu dari kegiatan tersebut dapat di buat dalam beberapa poin sebagai berikut:

1. Variasi Bentuk Fill: Disarankan agar penelitian berikutnya mencoba bentuk fill yang berbeda untuk melihat bagaimana bentuk tersebut mempengaruhi kinerja cooling tower.
2. Penggunaan Media Fill Berbeda: Selain bentuk, variasi media fill yang berbeda juga penting untuk dicoba guna mengetahui dampaknya terhadap peningkatan efisiensi cooling tower.
3. Faktor Lingkungan: Disarankan juga agar penelitian mempertimbangkan faktor lingkungan, seperti kecepatan angin dan kelembapan, yang dapat memengaruhi performa cooling tower.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardani, A., I. Qiram, and G. Rubiono. 2018. "Pengaruh Sudut Alur Sekat Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling Tower)." *Dinamika Teknik Mesin* 8(1): 21.
- Dahl, R. (2013). Cooling Concepts: Alternatives to air conditioning for a warm world. *Environmental Health Perspectives*, 121(1). <https://doi.org/10.1289/ehp.121-a18>
- FAHMI, Ahmad. 2021. "Analisa Numerik APK Shell Helical Coil Bersirip Pada Aplikasi ACWH." *Skripsi*: 1–104. <http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/14966>.
- Hardanto, Cahyo, and Bambang Yuniarto. 2015. "Uji Prestasi Pendinginan Evaporasi Kontak Tidak Langsung (Indirect Evaporative Cooling) Dengan Variasi Temperatur Media Pendingin Air." *Jurnal Teknik Mesin S-1* 3(3): 239–44.
- Jassim, Najim A. 2006. "Theoretical and Experimental Study on Cable Vibration." 17(6): 1622–32.
- Kohrs, Carl Christoff. 2020. "Performance-Based Quantification of Natural Draught Wet Cooling Tower Fill Fouling." (December).
- Komarudin, and Rudi Saputra. 2017. "Cooling Tower Pada Tungku Induksi Pengecoran Logam Di Polman Astra." *Bina Teknika* 13(1): 11–21.
- Lestari, Wiji. 2017. "Analisa Pengaruh Sistem Pendingin Terhadap Mesin Bensin Xenia Type Xi 1300 Cc 4 Silinder 16 Valve (K3 – De Dohc)." *Jurnal Kajian Teknik Mesin* 2(1): 52–60.
- Nuriyadi, Muhammad. 2019. "Perbandingan Kinerja Sistem Pendingin Evaporatif Jenis Langsung Dan Tak Langsung." *Seminar nasional Edusaintek*: 27–36.
- Patel, Anand, and Article Info. 2023. "The Effect of Moisture Recovery System on Performance of Cooling Tower." 9(07): 78–83.
- Rahman, Rahman, and Aqli Mursadin. 2022. "ANALISIS KINERJA COOLING TOWER MENGGUNAKAN METODE RANGE DAN APPROACH DI PLTU ASAM-ASAM." *JTAM ROTARY* 4(2): 129.
- Siagian, Saut. 2017. "ANALISIS KARAKTERISTIK UNJUK KERJA KONDENSOR PADA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONING) YANG MENGGUNAKAN FREON R-134 a BERDASARKAN PADA VARIASI PUTARAN KIPAS PENDINGIN." *Bina Teknika* 11(2): 124.
- Suhardi Putra, Raden. 2015. "Analisa Perhitungan Beban Cooling Tower Pada Fluida Di Mesin Injeksi Plastik." *Jurnal Teknik Mesin* 4(2): 19.

- Sumarjianto, Gatut Rubiono, and Ikhwanul Qiram. 2020. "Pengaruh Jumlah Sekat Aliran Lapisan Pengisi Terhadap Unjuk Kerja Menara Pendingin (Cooling Tower)." *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)* 5(1): 1–4.
- Tutuko, Said Widya. 2007. "Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta 2007."
- Yulianto, Sulis, and Aan Urbiantoro. 7 *PERANCANGAN COOLING TOWER UNTUK ALAT PENUKAR KALOR SHELL AND TUBE KAPASITAS SKALA LABORATORIUM.*
- Zulfikar, Zulfikar. 2019. "Penambahan Water Coolant Pada Cooling Tower Tipe Counter Flow." *Jurnal Mesin Nusantara* 1(2): 85–92.
- DeepL Translate: Penerjemah paling akurat di seluruh dunia.* (n.d.). <https://www.deepl.com/id/translator>
- Redaksi. What is a Cooling Tower and How Does it Work?* (2024b, August 14). Manufacturers of Cooling Towers & Systems by Delta Cooling Towers, Inc. <https://deltacooling.com/resources/faqs/what-is-a-cooling-tower>
- 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>
- 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.* 8(2502), 35–41.

LAMPIRAN

Lampiran ini memuat data hasil pengujian terkait pengaruh sudut kemiringan fill terhadap kinerja Wet Cooling Tower. Tabel-tabel berikut menyajikan hasil pengukuran pada berbagai sudut kemiringan dan kecepatan aliran udara yang telah dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas sistem. Data ini berfungsi sebagai dasar dalam menilai performa WTC berdasarkan parameter range, nilai approach, Me, Mev dan efektivitas.

Hasil Pengukuran nilai Range pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

Tabel nilai range terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C							
Sudut	L/g	10,89	6,41	4,53	2,88	1,92	1,48
10°	Range	1,323	3,168	4,793	5,018	6,261	5,635
20°	Range	2,651	4,183	5,043	5,709	5,712	5,013
30°	Range	4,025	5,785	6,073	6,132	6,579	6,695

Hasil Pengukuran nilai Approach pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

Tabel nilai Approach terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C							
Sudut	L/g	11,06	6,48	4,56	2,93	1,95	1,49
10°	Approach	23,550	20,145	18,060	15,974	12,278	10,958
20°	Approach	15,342	15,175	14,761	13,768	13,124	12,478
30°	Approach	22,191	21,066	19,790	16,906	12,172	9,792

Hasil Pengukuran nilai Efektivitas pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

Tabel nilai efektifitas terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C							
Sudut	L/g	11,06	6,48	4,56	2,93	1,95	1,49
10°	efektifitas	0,053	0,136	0,210	0,239	0,338	0,340
20°	efektifitas	0,208	0,276	0,292	0,308	0,334	0,349
30°	efektifitas	0,107	0,166	0,203	0,252	0,319	0,339

Hasil Pengukuran nilai Me pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

		Tabel nilai Me terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C						
Sudut	L/G	10,9	6,4	4,6	2,9	1,9	1,5	
10°	Me	0,027	0,071	0,108	0,104	0,127	0,109	
20°	Me	0,152	0,178	0,155	0,137	0,139	0,137	
30°	Me	0,067	0,103	0,118	0,123	0,115	0,098	

Hasil Pengukuran nilai Mev pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

		Tabel nilai Mev terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C						
Sudut	L/G	10,9	6,4	4,6	2,9	1,9	1,5	
10°	Mev	0,0004	0,0009	0,0013	0,0014	0,0016	0,0012	
20°	Mev	0,0011	0,0015	0,0016	0,0016	0,0017	0,0019	
30°	Mev	0,0007	0,0011	0,0013	0,0015	0,0016	0,0014	

Hasil Pengukuran nilai Q pada Sudut Kemiringan 10°, 20°, 30°

		Tabel nilai Q terhadap sudut 10°,20°,30° pada suhu 50°C						
Sudut	L/G	11,3	6,7	4,7	3,0	2,0	1,5	
10°	Q	1038,868	2486,234	3742,012	3926,972	4893,145	4384,734	
20°	Q	3115,289	4494,990	4713,976	4722,783	5062,583	5166,730	
30°	Q	2054,724	3220,072	3894,877	4417,351	4428,123	3910,425	

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN FILL TERHADAP KINERJA WCT (WET COOLING TOWER) MENGGUNAKAN PERFORATED SPLASH FILL
 Nama : Pitrian Doli Sahbana Hasibuan
 NPM : 2007230009
 Dosen Pembimbing : Khairul Umurani, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
	Senin/1/Jan	Perbaikan dari pengisian	le
	Jumat/15/Jan	Perbaiki data bahasa perulisan	le
	Senin/7/feb	Perbaiki gambar	le
	Rabu/17/feb	Perbaikan penulisan	le
	Senin/7/Mar	Perbaiki rumusan	le
	Senin/15/04	Perbaiki per samadan	le
	Senin/22/04	lanjutan perulisan	le
	Jumat/9/05	Perbaiki bab 4	le
	Rabu/18/05	Perbaiki kesimpulan	le
	Jumat/29/05	Revisi, kesimpulan akhir	le



UMSU

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

UNSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BA-PTIAK/PgPT/2023
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6621983
Website: <https://fatek.umsu.ac.id> Email: fatek@umsu.ac.id Facebook: [umsu.medan](https://www.facebook.com/umsu.medan) Instagram: [umsu.medan](https://www.instagram.com/umsu.medan) Twitter: [umsu.medan](https://twitter.com/umsu.medan) YouTube: [umsu.medan](https://www.youtube.com/umsu.medan)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 1902/IL3AU/UMSU-07/F/2024

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESINI Pada Tanggal 14 Oktober 2024 dengan ini Menetapkan :

Nama : PITRIAN DOLI SAHBANA HASIRUAN
Npm : 2007230009
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : IX (SEMBILAN)
Judul Tugas Akhir : PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN FIELL TERHADAP 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

Medan, 14 Oktober 2024 M
1446 H



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT
NIDN: 0101017202



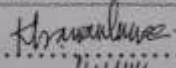
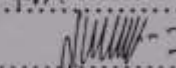
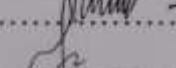







**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2024 – 2025**

Peserta seminar

Nama : Pitriani Doli Sahbana Hsb

NPM : 2007230009

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Sudut Kemiringan Fiell Terhadap Kinerja WTC (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I	: Khairul Umurani, ST, MT	:	
Pemanding – I	: Rahmatullah, ST, M.Sc	:	
Pemanding – II	: H. Muharnif M, ST, M.Sc	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2007230040	m. Puul Ramayah	
2	2007230008	Qoriy IBNU HASYAH	
3	2007230066	Muhammad Fakhri P	
4	2207230638	ALIEF HERDIANING R.	
5	2007230033	Bambang Sutrisno	
6	2007230187	Wangyu Wurnidwan	
7	2007230048	DINDY MEI SANDI	
8			
9			
10			

Medan, 08 Rabi'ul Akhir 1446 H
12 Oktober 2024 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

Nama : Pitrian Doli Sahbana Hsb
NPM : 2007230009
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Sudut Kemiringan Fiehl Terhadap Kinerja WTC (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill
Dosen Pembanding - I : Rahmatullah, ST, M.Sc
Dosen Pembanding - II : H. Muharnif M, ST, M.Sc
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 :

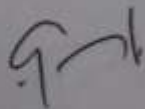
..... Perbaiki sesuai koreksi yang ada dalam kom pada skripsi.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

.....
.....
.....

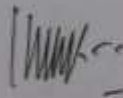
Medan, 08 Rabi'ul Akhir 1446 H
12 Oktober 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I



Rahmatullah, ST, M.Sc

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

Nama : Pitrian Doli Sabbana Hsb
NPM : 2007230009
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Sudut Kemiringan Fiell Terhadap Kinerja WTC (Wet Cooling Tower) Menggunakan Perforated Splash Fill

Dosen Pembanding – I : Rahmatullah, ST, M.Sc
Dosen Pembanding – II : H. Muharnif M, ST, M.Sc
Dosen Pembimbing – I : Khairul Umurani, ST, MT

KEPUTUSAN

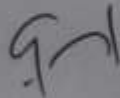
1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

- lihat buku peng. SI
- 3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

Medan 08 Rabi'ul Akhir 1446 H
12 Oktober 2024 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- II



Chandra A Siregar, ST, MT



H. Muharnif M, ST, M.Sc

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA PRIBADI

Nama : Pitrian Doly Sahbana Hasibuan
NPM : 2007230009
Tempat, Tanggal Lahir : Kota Pinang, 26 Desember 2001
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Status Perkawinan : Belum Kawin
Alamat : Jln. Labuhan Lama Kota Pinang
Nomor HP : 081231293152
E-Mail : pitriandoli@gmail.com
Nama Orang Tua
Ayah : Lukman Hasibuan
Ibu : Nur Hasanah Rambe

PENDIDIKAN FORMAL

1. SD Negeri 112224 Kota Pinang : Tahun 2008-2014
2. SMP Negeri 1 Kota Pinang : Tahun 2015-2017
3. SMK Swasta Mandiri Percut Sei Tuan : Tahun 2018-2020
4. Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara : Tahun 2020-2025

