

TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK UNJUK KERJA WET COOLING TOWER ALIRAN PAKSA

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

Disusun Oleh:

AFRIZAL SAPUTRA DAMANIK
1807230073



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2023

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Afrizal Saputra Damanik
NPM : 1807230073
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja Wet Cooling Tower
Aliran Paksa
Bidang ilmu : Konversi Energi

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

Medan, 11 Agustus 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Sudirman Lubis S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Khairul Umurani, S.T.,M.T.

Ketua, Program Studi Teknik Mesin



Chandra A Siregar S.T.,M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Afrizal Saputra Damanik
Tempat /Tanggal Lahir : Sintong / 24 April 2000
NPM : 1807230073
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhirsaya yang berjudul:

"Karakteristik Unjuk Kerja *Wet Cooling Tower* Aliran Paksa"

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja 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, 25 juli 2023

Saya yang menyatakan,



Afrizal Saputra Damanik

ABSTRAK

Menara Pendingin (*Cooling tower*) merupakan suatu alat atau unit yang digunakan untuk pembuatan cooling tower yang baik. Air pendingin yang berasal dari alat atau sistem penukar panas didinginkan di menara pendingin dengan cara mengontakkan dengan udara yang dilewatkan secara berlawanan arah. Bila zat cair panas dikontakkan dengan gas tak jenuh, sebagian dari zat cair itu akan menguap dan suhu zat cair akan turun. Penurunan suhu zat cair demikian biasanya merupakan tujuan dari berbagai operasi kontak gas dan zat cair, lebih. Besarnya laju perpindahan massa dan panas dipengaruhi oleh luas daerah kontak antara fluida panas dengan fluida dingin. *Cooling Tower* bekerja dengan cara air panas disirkulasikan ke bagian atas *Cooling Tower* dan melewati bahan pengisi (*Filler*) sehingga terjadi kontak langsung air dengan udara kemudian dijatuhkan ke bawah menyebar dengan pipa distribusi. Air masuk ke dalam bak penampung air dingin. *Cooling Tower* dilengkapi dengan kipas untuk mempercepat proses pendinginan sehingga terjadi transfer panas. Ketika air jatuh ke bawah dan mengenai udara dari kipas maka terjadi perpindahan panas, Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui Kinerja *Cooling Tower* dievaluasi dengan *Approach* dan *Range* *Cooling Tower* terhadap nilai desain, Elemen-elemen kinerja dari *Cooling Tower* adalah : Suhu udara wet bulb, suhu udara dry bulb, suhu air masuk *Cooling Tower*, suhu air keluar *Cooling Tower*, suhu udara keluar, amper motor, laju alir air, laju alir udara. Parameter tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja *cooling tower* *Temperatur range* adalah selisih dari temperatur air masuk *cooling tower* (T_{in}) dan keluar *cooling tower* (T_{out}). Makin besar selisih yang didapatkan, maka bisa dikatakan *cooling tower* tersebut kinerjanya sangat bagus dan *cooling tower* mampu bekerja secara efektif. *Temperatur approach* adalah selisih temperatur air dingin yang keluar *cooling tower* (T_{out}) dengan temperatur bila basah (*wet bulb*) udara lingkungan (T_{WBamb}) sekitar *cooling tower*. Metodologi yang di pakai adalah dengan memvariasikan kecepatan blower dari 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 50Hz terhadap air panas yang masuk kedalam *cooling tower*. Adapun hasil yang di dapat dari penelitian ini ialah temperature range yang bagus didapat dari *fill* bulat dengan sudut 15° yang hasilnya $12,16^{\circ}\text{C}$, dan tempertur approach maksimum di dapat dari fill kotak disudut 15° yang hasilnya $25,8^{\circ}\text{C}$. Dimana dari ketiga *fill* percobaan yang dilakukan didapat fill yang paling bagus dari nilai efektifitas nya yaitu di *fill* bulat pada sudut 15° yang hasilnya adalah 58,44.

Kata kunci : perpindahan panas pada *cooling tower*, nilai temperatur *approach*, dan nilai temperatur *range*

ABSTRAK

Cooling tower (Cooling tower) is a tool or unit used to manufacture a good cooling tower. Cooling water coming from a heat exchanger device or system is cooled in a cooling tower by contacting it with air that is passed in the opposite direction. When a hot liquid is brought into contact with an unsaturated gas, some of the liquid will evaporate and the temperature of the liquid will drop. Lowering the temperature of such liquids is usually the goal of various gas and liquid contact operations, more so. The magnitude of the rate of mass and heat transfer is influenced by the area of contact between the hot fluid and the cold fluid. Cooling Tower works by means of hot water being circulated to the top of the Cooling Tower and passing through the filler so that there is direct contact of water with air then dropped down and spreads. with distribution pipes. Water enters the cold water reservoir. Cooling Tower is equipped with a fan to speed up the cooling process so that heat transfer occurs. When water falls down and hits the air from the fan, heat transfer occurs. The aim of this research is to determine the performance of the Cooling Tower is evaluated by Approach and Range Cooling Tower against the design value. The performance elements of the Cooling Tower are: Wet bulb air temperature, air temperature dry bulb, Cooling Tower inlet water temperature, Cooling Tower outlet water temperature, outlet air temperature, motor amperage, water flow rate, air flow rate. These parameters are then used to determine the performance of the cooling tower. The temperature range is the difference between the temperature of the water entering the cooling tower (T_{in}) and leaving the cooling tower (T_{out}). The greater the difference obtained, it can be said that the cooling tower has a very good performance and the cooling tower is able to work effectively. The approach temperature is the difference between the temperature of the cold water coming out of the cooling tower (T_{out}) and the temperature when the ambient air (T_{WBamb}) is wet (wet bulb) around the cooling tower. The methodology used is to vary the blower speed from 10Hz, 20Hz, 30Hz, 40Hz, 50Hz to the hot water that enters the cooling tower. The results obtained from this study are that a good temperature range is obtained from a round fill with an angle of 15° which yields $12,16^{\circ}\text{C}$, and the maximum approach temperature is obtained from a box fill at an angle of 15° which yields $25,8^{\circ}\text{C}$. Where from the three experimental fills carried out, the best fill was found in terms of its effectiveness value, namely in a round fill at an angle of 15° which the result was 58,44.

Keywords: heat transfer on cooling tower, temperature approach value, and

tempereture range value

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat 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 “Pembuatan Instrument Pengukuran Laju Aliran Udara Pada *Wet Cooling Tower*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan 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 Candra A Siregar S.T, M.T. Selaku dosen penguji I dan Bapak Sudirman Lubis S.T.,MT. Selaku dosen penguji II Yang telah banyak membimbing dan mengarahkan tugas akhir ini.
3. Bapak Candra A Siregar S.T, M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. Selaku Ketuan dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
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 keteknikmesinan kepada penulis
6. Orang tua penulis: Parlen Damanik dan Mariyam Saragih, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

7. Sahabat-sahabat penulis: Aditiya Wardhana, M sayid zufri, Rafido Alfarizi, M Iqbal, Nanda Fahriza dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu persatu.
8. Seluruh Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

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

Medan, 11 Agustus 2023

Afrizal Saputra Damanik

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii	
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN TUGAS AKHIR		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT	v	
KATA PENGANTAR		vi
DAFTAR ISI		vii
DAFTAR GAMBAR		viii
DAFTAR TABEL		ix
DAFTAR DIAGRAM		x
DAFTAR NOTASI		xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1	
1.1 Latar Belakang	1	
1.2 Rumusan masalah	2	
1.3 Ruang lingkup	3	
1.4 Tujuan Penelitian	3	
1.5 Manfaat	3	
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4	
2.1 Sistem Pendingin	4	
2.1.1 Definisi Sistem Pendingin	4	
2.1.2 Fungsi <i>Cooling tower</i>	4	
2.2 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i>	4	
2.2.1 <i>Temperature Range</i>	7	
2.2.2 <i>Temperature Approach</i>	7	
2.3 Klasifikasi Menara pendingin	8	
2.3.1 Definisi <i>Cooling Tower</i>	8	
2.3.2 Menara Pendingin Basah	8	
2.3.3 Menara Pendingin Kering	9	
2.3.4 Menara Pendingin Basah-Kering	10	
2.4 Komponen Penyusun Menara pendingin	11	
BAB 3 METODE PENELITIAN	15	
3.1 Tempat dan Waktu	15	
3.1.1 Tempat	15	
3.1.2 Waktu	15	
3.2 Bahan dan Alat	15	
3.2.1 Bahan	15	
3.2.2 Alat	16	
3.3 Diagram Alir	25	
3.4 Perancangan Alat	26	
3.5 Prosedur Pembuatan	26	

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Hasil pengujian	29
4.2 Perhitungan data	29
4.3 Pembahasan	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
SK PEMBIMBINGAN	
BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kontruksi Menara Pendingin	4
Gambar 2.2 Sistem Operasi <i>Cooling Tower</i>	6
Gambar 2.3 Range dan Approach Pada <i>cooling Tower</i>	7
Gambar 2.4 Menara Pendingin Basah	9
Gambar 2.5 Menara Pendingin Aliran Angin Alami Lawan Arah	9
Gambar 2.6 Menara Pendingin Aliran Angin Alami Aliran Silang	10
Gambar 2.7 Menara Pendingin Kering	11
Gambar 2.8 Menara Pendingin Basah – Kering	11
Gambar 2.9 Wadah dan Rangka	12
Gambar 2.10 Kipas/ <i>Fan</i>	12
Gambar 2.11 Bahan Pengisi <i>Fill</i>	13
Gambar 2.12 Bahan Pengisi Berbentuk Film	14
Gambar 2.13 Pipa <i>Srinkle</i>	14
Gambar 2.14 Water Basin	15
Gambar 2.15 Pintu masuk <i>louver</i>	15
Gambar 3.1 Plat Galvalum	17
Gambar 3.2 Gerinda Tangan	17
Gambar 3.3 Mesin Las	18
Gambar 3.4 Kaca Mata Las	18
Gambar 3.5 Kawat Las	19
Gambar 3.6 Sarung Tangan	19
Gambar 3.7 Bor Tangan	20
Gambar 3.8 Meteran	20
Gambar 3.9 Palu	21
Gambar 3.10 Flinkoat	21
Gambar 3.11 Cat	22
Gambar 3.12 Baut dan Mur	22
Gambar 3.13 Kuas	23
Gambar 3.14 Siku Las	23
Gambar 3.15 Jangka Sorong	24
Gambar 3.16 <i>Blower</i>	24
Gambar 3.17 <i>Splash Fill</i> Bulat	24
Gambar 3.18 <i>Splash Fill</i> Kotak	25
Gambar 3.19 <i>Splash Fill</i> Segitiga	25
Gambar 3.20 Laptop	25
Gambar 3.21 Diagram Alir	26
Gambar 3.22 Rancangan Alat	27

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian <i>Fill</i> Bulat 9x8 Sudut 15°	30
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian <i>Fill</i> Bulat 9x8 Sudut 20°	31
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian <i>Fill</i> Bulat 9x8 Sudut 25°	32
Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 10 X 9 Sudut 15°	33
Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 10 X 9 Sudut 20°	34
Tabel 4.6 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 10 X 9 Sudut 25°	34
Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 11 X 10 Sudut 15°	35
Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 11 X 10 Sudut 20°	36
Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Bulat 11 x 10 Sudut 25°	37
Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 9 x 8 Sudut 15°	38
Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 9 x 8 Sudut 20°	39
Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 9 x 8 Sudut 25°	39
Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 10 x 9 Sudut 15°	40
Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 10 x 9 Sudut 20°	41
Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 10 x 9 Sudut 25°	41
Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 11 x 10 Sudut 15°	42
Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 11 x 10 Sudut 20°	43
Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Segitiga 11 x 10 Sudut 25°	43
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 9 x 8 Sudut 15°	44
Tabel 4.20 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 9 x 8 Sudut 20°	45
Tabel 4.21 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 9 x 8 Sudut 25°	46
Tabel 4.22 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 10 x 9 Sudut 15°	47
Tabel 4.23 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 10 x 9 Sudut 20°	48
Tabel 4.24 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 10 x 9 Sudut 25°	48
Tabel 4.25 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 11 x 10 Sudut 15°	49
Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 11 x 10 Sudut 20°	50
Tabel 4.27 Data Hasil Pengujian Pada <i>Fill</i> Kotak 11 x 10 Sudut 25°	51

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 <i>Temperature Range Fill</i> Bulat 9 x 8	53
Grafik 4.2 <i>Temperature Approach Fill</i> Bulat 9 x 8	53
Grafik 4.3 Efektifitas <i>Fill</i> Bulat 9 x 8	54
Grafik 4.4 <i>Temperature Range Fill</i> Bulat 10 x 9	55
Grafik 4.5 <i>Temperature Approach Fill</i> Bulat 10 x 9	55
Grafik 4.6 Efektifitas <i>Fill</i> Bulat 10 x 9	56
Grafik 4.7 <i>Temperature Range Fill</i> Bulat 11 x 10	57
Grafik 4.8 <i>Temperature Approach Fill</i> Bulat 11 x 10	57
Grafik 4.9 Afektifitas <i>Fill</i> Bulat 11 x 10	58
Grafik 4.10 <i>Temperature Range Fill</i> Segitiga 9 x 8	59
Grafik 4.11 <i>Temperature Approach Fill</i> Segitiga 9 x 8	59
Grafik 4.12 Efektifitas <i>Fill</i> Segitiga 9 x 8	60
Grafik 4.13 <i>Temperature Range Fill</i> Segitiga 10 x 9	61
Grafik 4.14 <i>Temperature Approach Fill</i> Segitiga 10 x 9	61
Grafik 4.15 Efektifitas <i>Fill</i> Segitiga 10 x 9	62
Grafik 4.16 <i>Temperature Range Fill</i> Segitiga 11 x 10	63
Grafik 4.17 <i>Temperature Approach Fill</i> Segitiga 11 x 10	63
Grafik 4.18 Efektifitas <i>Fill</i> Segitiga 11 x 10	64
Grafik 4.19 <i>Temperature Range Fill</i> Kotak 9 x 8	65
Grafik 4.20 <i>Temperature Approach Fill</i> Kotak 9 x 8	65
Grafik 4.21 Efektifitas <i>Fill</i> Kotak 9 x 8	66
Grafik 4.22 <i>Temperature Range Fill</i> Kotak 10 x 9	67
Grafik 4.23 <i>Temperature Approach Fill</i> Kotak 10 x 9	67
Grafik 4.24 Efektifitas <i>Fill</i> Kotak 10 x 9	68
Grafik 4.25 <i>Temperature Range Fill</i> Kotak 11 x 10	69
Grafik 4.26 <i>Temperature Approach Fill</i> Kotak 11 x 10	69
Grafik 4.27 Efektifitas <i>Fill</i> Kotak 11 x 10	70

DAFTAR NOTASI

T	= Suhu Dalam Satuan Celcius	(°C)
V	= Tegangan	(volt)
D	= Diameter	(m)
L	= Panjang	(m)
T_{in}	= <i>Temperatur inlet</i>	(K)
T_{out}	= <i>Temperatur outlet</i>	(K)
L/G	= Liquid/Gas	(Hz)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini banyak sekali bermunculan industri besar. Industri –industri tersebut memerlukan mesin-mesin besar sebagai alat penunjang dalam semua proses produksinya. Mesin-mesin ini mengeluarkan kalor sebagai efek samping dari proses produksinya, sehingga dibutuhkan pendingin untuk kelangsungan kerjanya. Solusi untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan sistem pendingin. Ada berbagai macam sistem pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air pada mesin, salah satunya adalah menggunakan menara pendingin *cooling tower*.

Menara pendingin adalah komponen yang sangat diperlukan untuk penolakan panas di pembangkit listrik tenaga surya terkonsentrasi (CSP). Namun, kinerja keseluruhan pembangkit CSP sangat bergantung pada pilihan teknologi menara pendingin. Untuk menilai dampak teknologi menara pendingin pada pembangkit CSP dari perspektif kinerja, ekonomi, dan lingkungan, teknologi pendinginan basah mencapai temuan kinerja tertinggi diikuti oleh teknologi pendinginan hibrida dan kering. Lingkungan mengungkapkan bahwa teknologi pendinginan basah masing-masing dapat menghindari sekitar 7,02% dan 2,93% emisi GRK dibandingkan dengan pendinginan kering dan hibrida, untuk memilih teknologi pendinginan yang paling hemat biaya dan ramah lingkungan untuk pembangkit CSP masa depan, berdasarkan kriteria utama. (El Marazgioui & El Fadar, 2022).

Menara pendingin banyak digunakan dalam industri kimia untuk mendinginkan air dengan udara ambien yang rentan terhadap perubahan cuaca tidak hanya pada siang hari, tetapi juga sepanjang tahun, sehingga menimbulkan tantangan pada desain dan pengoperasian menara pendingin. Operasi pabrik, karena penurunan menara pendingin harus tinggi untuk memperhitungkan hari-hari yang lebih dingin. Model matematika operasi menara pendingin yang disusun oleh keseimbangan massa dan energi, dan persamaan karakteristik menara pendingin dapat disimulasikan untuk merancang menara pendingin, dan

memperkirakan kinerjanya di empat kota Brasil (Manaus, Salvador, São Paulo dan Porto Alegre). strategi pengoperasian kipas menara pendingin untuk mengurangi slack, dan memperkirakan pengurangan biaya energi listrik jika strategi tersebut diterapkan. (Pontes et al., 2019)

Untuk menara pendingin basah draft alami skala besar (S-NDWCTs), zona hujan yang lebih tinggi menghasilkan energi potensial penurunan air yang dapat digunakan untuk menggerakkan kipas aksial, sedangkan diameter yang lebih besar menurunkan kinerja ventilasi secara keseluruhan. Berdasarkan masalah ini, model numerik tiga dimensi (3D) untuk S-NDWCT yang dilengkapi dengan kipas aksial dibuat untuk menganalisis kinerja termal pada diameter kipas dan daya kipas yang berbeda. (Dang et al., 2019)

Perpindahan panas dan massa di dalam dan tepat di atas menara pendingin aliran balik basah. Model termodinamika menara pendingin basah menetapkan nomor Merkel khusus zona untuk masing-masing zona hujan, pengisian, dan semprotan, dan ini mencakup model kepulan atmosfer. Dengan menggunakan formulasi ini, laju penolakan panas dan penguapan air zona-demi-zona dapat diperkirakan, seperti halnya ketinggian plume yang terlihat. Model divalidasi terhadap metode Poppe dan Merkel yang sudah mapan. Kinerja menara pendingin dan visibilitas plume dievaluasi dalam berbagai kondisi iklim Parameter menara pendingin dan kondisi operasi pada kinerja keseluruhan dan pola dispersi atmosfer. Model yang sangat ideal untuk optimalisasi numerik menara pendingin yang harus memenuhi persyaratan kinerja termal dan visibilitas semburan yang ketat. (Zargar et al., 2022)

Dari latar belakang permasalahan tersebut, maka penulis melakukan penelitian tentang “Karakteristik Unjuk Kerja *Wet Cooling Tower* Aliran Paksa.”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka peneliti Mengidentifikasi masalah yaitu :

1. Bagaimana cara mengetahui perpindahan panas pada *cooling tower*.
2. Berapakah Temperatur *range* dan *approach* yang terjadi di *wet cooling tower*.

3. Pengaplikasikan unjuk kerja *wet cooling tower*.

1.3. Ruang Lingkup

Berdasarkan latar belakang diatas maka batasan masalah dalam penelitian ini

adalah.

1. Pengaplikasikan pembuatan *wet cooling tower* dari resin dan akrilik.
2. Menganalisis dan menguji cara kerja *wet cooling tower*.
3. Menganalisis perpindahan panas dan tekanan pada *wet cooling tower*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui proses perpindahan panas pada *wet cooling tower*.
2. Untuk mengetahui temperetur range pada *wet cooling tower*.
3. Untuk megetahui temperature approach *wet cooling tower*.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah.

1. Diharapkan penelitian ini menjadi pedoman untuk memilih teknologi pendinginan di dunia industri terutama di bidang *wet cooling tower*.
2. Dapat mengetahui unjuk kerja *wet cooling tower* .
3. Dapat mengetahui proses perpindahan panas dan tekanan yang terjadi pada *wet cooling tower*.

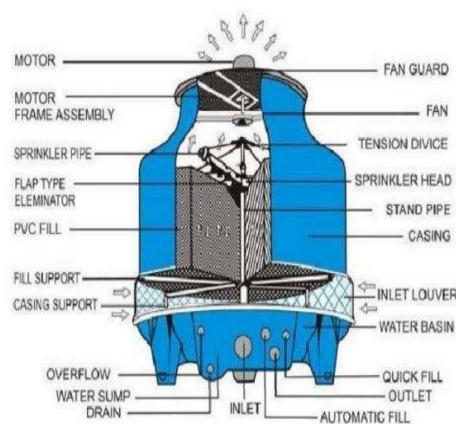
BAB 2 TINJAUAN PUSKATA

2.1. Menara Pendingin (*cooling tower*)

2.1.1. Pengertian Menara pendingin

Menara Pendingin (*Cooling tower*) merupakan suatu alat atau unit yang digunakan untuk pembuatan cooling tower yang baik. Air pendingin yang berasal dari alat atau sistem penukar panas didinginkan di menara pendingin dengan cara mengontakkan dengan udara yang dilewatkan secara berlawanan arah. Bila zat cair panas dikontakkan dengan gas tak jenuh, sebagian dari zat cair itu akan menguap dan suhu zat cair akan turun. Penurunan suhu zat cair demikian biasanya merupakan tujuan dari berbagai operasi kontak gas dan zat cair, lebih. Besarnya laju perpindahan massa dan panas dipengaruhi oleh luas daerah kontak antara fluida panas dengan fluida dingin. (Studi et al., 2022)

Sebuah sistem air dari kondensor untuk dibuang kalornya melalui fan kemudian disirkulasikan kembali pada kondensor agar tercapai suhu pada ruangan yang diinginkan. Dingin atau tidaknya air pada sirkulasi cooling tower bergantung pada level air pada masing-masing tandon air cooling tower. Dibuatnya prototipe untuk mengoptimalkan kapasitas air. (Cuk Sholahuddin Putra & Jamaaluddin, 2021). Dapat dilihat pada gambar 2.1.



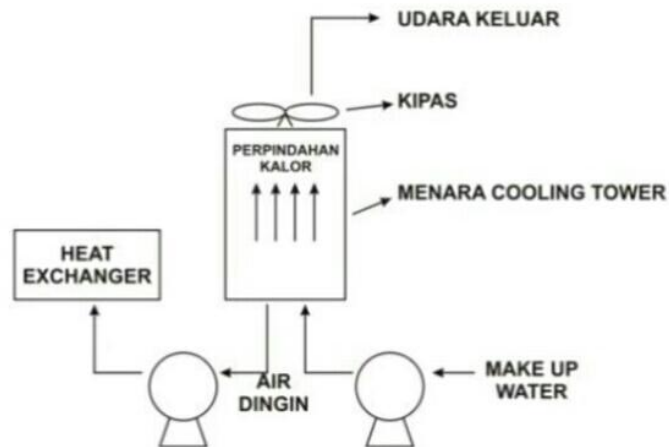
Gambar 2.1 Kontruksi Menara Pendingin (Irawan, 2022)

2.1.2. Fungsi *Cooling tower*

Cooling tower secara garis besar berfungsi untuk menyerap kalor dari air yang memiliki suhu tinggi dan menyediakan sejumlah air yang relatif sejuk (dingin) untuk dipergunakan kembali. Dengan kata lain cooling tower berfungsi untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara mengekstraksi panas dari air dan mengemisikannya ke atmosfer.

2.2. Prinsip Kerja Cooling Tower

Prinsip kerja dari menara pendingin dapat dikatakan sebagai alat penukaran kalor dengan prinsip kerja melepaskan dan memindahkan panas antara air pendingin kondensor ke udara. Air pendingin kondensor yang hangat dipompakan ke bagian atas menara pendingin kemudian didistribusikan melalui *splash bars* ke material pengisi menara pendingin. Material pengisi membuat permukaan air sebanyak mungkin, meningkatkan waktu kontak antara air dengan udara guna meningkatkan penguapan dan perpindahan panas. Udara dapat berkontak dengan air karena udara ditarik atau melintasi (*fill*) oleh satu atau lebih kipas di bagian atas menara. Air yang bersentuhan dengan udara akan menguap dan sisa panas laten air dipindahkan ke udara. Proses tersebut menyebabkan temperatur bola basah udara meningkat dan temperatur air menurun saat air dan udara keluar dari menara pendingin. (Midiani et al., 2021). Dapat dilihat pada Gambar 2.2.

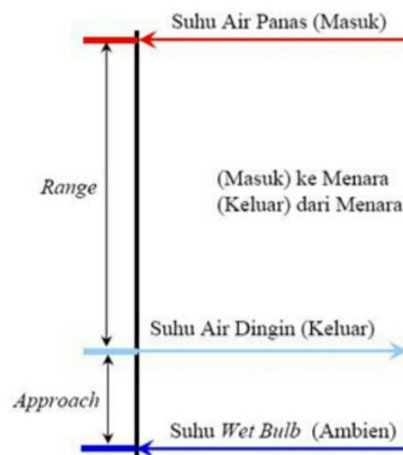


Gambar 2.2 Sistem Operasi *Cooling Tower*.(Ayyam et al., 2018)

Dari gambar di atas *Cooling Tower* bekerja dengan cara air panas disirkulasikan ke bagian atas *Cooling Tower* dan melewati bahan pengisi (*Filler*) sehingga terjadi kontak langsung air dengan udara kemudian dijatuhkan ke bawah menyebar dengan pipa distribusi. Air masuk ke dalam bak penampung air dingin. *Cooling Tower* dilengkapi dengan kipas untuk mempercepat proses pendinginan sehingga terjadi transfer panas. Ketika air jatuh ke bawah dan mengenai udara dari kipas maka terjadi perpindahan panas. (Ayyam et al., 2018)

Kecepatan aliran mempengaruhi banyak hal, salah satunya penurunan pada faktor gesekan yang disebabkan oleh bertambahnya kecepatan pada aliran udara (Khairul Umurani, Rahmatullah, Ahmad Marabdi Siregar, Arya Rudi Nasution, 2023).

Kinerja *Cooling Tower* dievaluasi untuk mempelajari nilai *Approach* dan *Range Cooling Tower* terhadap nilai desain, identifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan. Elemen-elemen kinerja dari *Cooling Tower* adalah : Suhu udara *wet bulb*, suhu udara *dry bulb*, suhu air masuk *Cooling Tower*, suhu air keluar *Cooling Tower*, suhu udara keluar, amper motor, laju alir air, laju alir udara. Parameter tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja cooling tower. (Midiani et al., 2021) Dapat di lihat pada gambar 2.2.2.



Gambar 2.3 *Range* dan *Approach* pada *Cooling Tower*. (Midiani et al., 2021)

2.2.1 *Range*

Temperatur *range* adalah selisih dari temperatur air masuk *cooling tower* (T_{in}) dan keluar *cooling tower* (T_{out}). Makin besar selisih yang didapatkan, maka bisa dikatakan *cooling tower* tersebut kinerjanya sangat bagus dan *cooling tower* mampu bekerja secara efektif. Dapat dilihat pada gambar 2.3.

Dirumuskan dengan :

$$Range\ (^{\circ}C) = T_{in}\ (^{\circ}C) - T_{out}\ (^{\circ}C)$$

2.2.2 *Approach*

Temperatur *approach* adalah selisih temperatur air dingin yang keluar *cooling tower* (T_{out}) dengan temperatur bila basah (*wet bulb*) udara lingkungan (T_{WBamb}) sekitar *cooling tower*. Dapat dilihat pada gambar 2.3.

Dirumuskan dengan :

$$Approach\ (^{\circ}C) = T_{out}\ (^{\circ}C) - T_{wbamb}\ (^{\circ}C)$$

2.3. Klasifikasi Menara Pendingin

Pada umumnya pengklasifikasian dilakukan berdasarkan sirkulasi air yang terdapat didalamnya. *cooling tower* dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

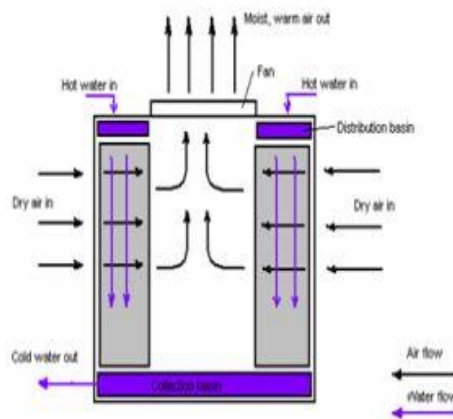
1. *wet cooling tower* (Menara pendingin basah)
2. *dry cooling tower* (Menara pendingin kering)
3. *wet-dry cooling tower* (Menara pendingin basah-kering)

2.3.1. Defenisi *Cooling Tower*

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.

2.3.2. Menara pendingin basah (*wet cooling tower*)

Wet cooling tower mempunyai sistem distribusi air panas yang disemprotkan secara merata ke kisi-kisi, lubang-lubang atau batang-batang horizontal pada sisi menara yang disebutkan isian. Udara masuk dari luar menara melalui kisi-kisi yang terbentuk celah-celah horizoontal yang terpancang pada sisi menara. Dapat dilihat pada gambar 2.4.

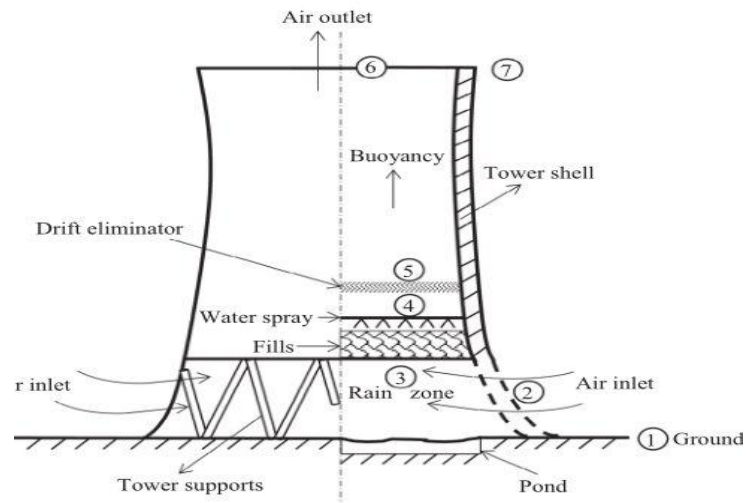


Gambar 2.4 Menara Pendingin Basah (*wet cooling tower*) (Irawan, 2022)

Menara pendingin basah di bagi dua menurut aliran angin alami yang terjadi

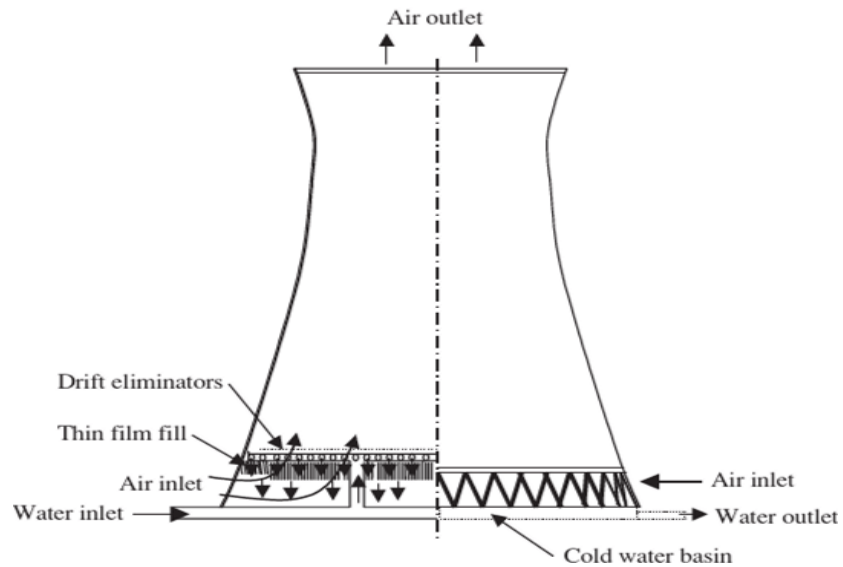
:

1. Menara pendingin aliran angin alami aliran lawan arah (*counterflow*). Dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Menara pendingin aliran angin alami lawan arah (Zhang et al., 2017)

2. Menara pendingin aliran angin alami aliran silang (*crossflow*). Dapat dilihat pada gambar 2.6.

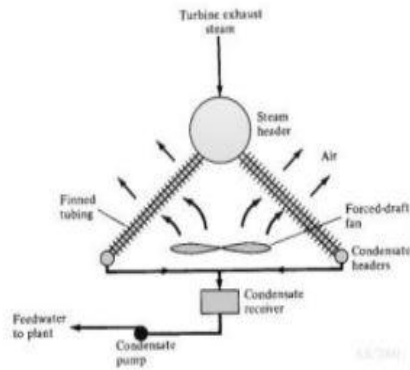


Gambar 2.6 Menara pendingin aliran angin alami aliran silang (Zhang et al., 2017)

2.3.3. Menara pendingin kering (*dry cooling tower*)

Menara pendingin kering adalah air panas dipompa melalui susunan pipapipa dengan pelat logam yang terpasang kemudian memancarkan panas ke udara yang mengalir di menara pendingin. Mekanik Draft hanya menunjukkan

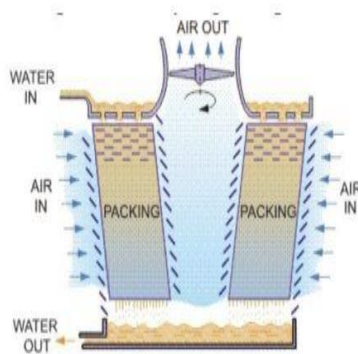
bahwa konveksi di menara tidak alami tetapi juga diinduksi oleh kipas angin. Dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Menara Pendingin Kering (*dry cooling tower*) (Irawan, 2022)

2.3.4. Menara pendingin basah-kering (*Wet-dry cooling tower*)

Menara pendingin baru yang diusulkan sebagai metode campuran ini dapat mengurangikonsumsi air hingga sekitar 20% dari menara pendingin tipe basah konvensional (yang merupakan masalah yang tidak diinginkan pada sistem pendingin pembangkit listrik). Dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Menara Pendingin Basah-Kering (*Wet-dry cooling tower*) (Irawan, 2022)

2.4. Komponen Penyusun Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

1. Wadah atau Rangka

Hampir semua jenis *cooling tower*, memiliki rangka terstruktur yang menunjang tutup luarnya, yang meliputi didalamnya terdapat motor, fan, dan komponen lainnya. Namun untuk unit *cooling tower* yang lebih kecil seperti fiber glass, wadahnya dapat menjadi rangkanya. Dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Wadah atau rangka

2. Kipas / fan

Fan berfungsi untuk menarik udara dan kemudian mensirkulasikannya di dalam menara yang bertujuan untuk mendinginkan air, jika fan atau kipas tidak berfungsi dengan baik maka kinerja *cooling tower* tidak optimal, kipas ini digerakkan oleh sebuah motor listrik yang langsung dikopel pada poros kipasnya, dua jenis fan yang biasa digunakan : fan aksial (jenis baling baling) dan fan sentrifugal. Bahan yang digunakan unyuk fan adalah jenis aluminium, fiber glass dan baja yang digalvanis celup panas, baling-baling fan dari baja galvanis, aluminium, plastic yang diperkuat oleh fiber glass cetak. Dapat dilihat pada gambar 2.10.

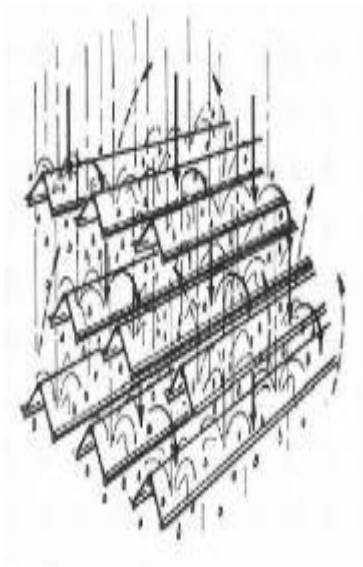


Gambar 2.10 Kipas/Fan

3. Bahan Pengisi

Pada Umumnya terdapat dua jenis bahan pengisi, yaitu :

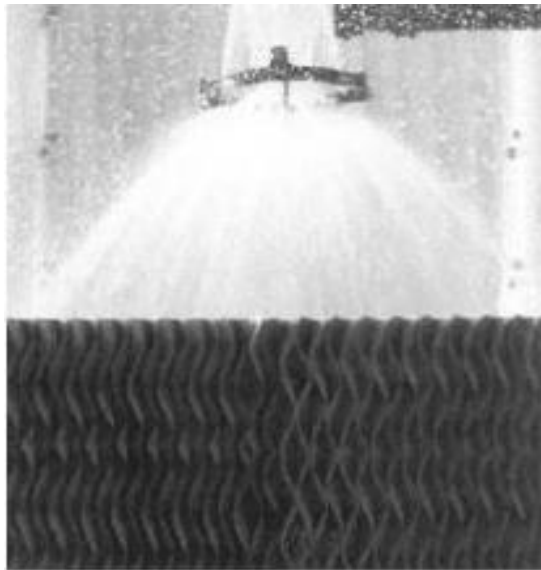
Bahan pengisi berbentuk percikan/Splash fill: Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan panas yang lebih baik daripada bahan pengisi percikan dari kayu. Dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Bahan Pengisi *Splash Fill* (Ayyam et al., 2018)

4. Bahan pengisi berbentuk film

Bahan pengisi ini terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Jenis bahan pengisi film lebih efisien dan memberi perpindahan panas yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis splash. Dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Bahan Pengisi Berbentuk Film (Ayyam et al., 2018)

5. Pipa *Sprinkle*

Pipa *sprinkle* adalah pipa berlubang kecil-kecil yang kemudian di satukan ke dalam *head sprinkle* yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada *cooling tower*, sehingga perpindahan kalor air dapat menjadi efektif dan efisien. Dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13. Pipa *Srinkle*

6. *Water Basin*

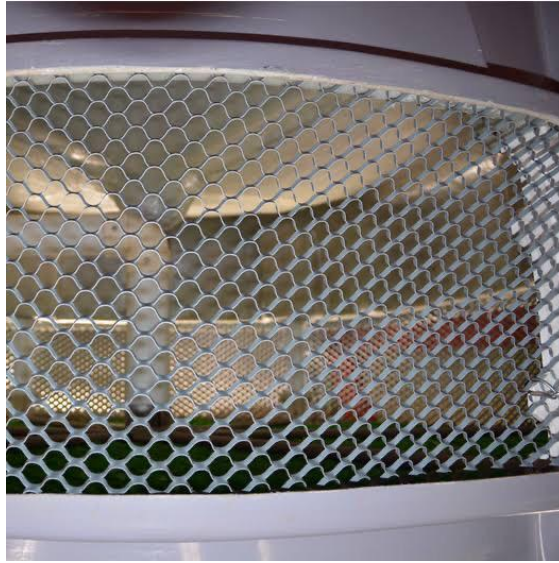
Water basin atau kolam air dingin terletak pada bagian bawah menara, menerima air dingin yang mengalir turun melalui menara dan bahan pengisi, *water basin* memiliki sebuah lubang atau titik terendah untuk pengeluaran air dingin. Dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 *Water Basin*

7. *Inlet Louver*

Inlet louver berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui lubang-lubang yang ada, melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas air yang akan didistribusikan. Dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15. Pintu Masuk *Louver*

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Kekuatan Material Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapten Muchtar Basri, No.3 Medan

3.1.2 Waktu

Adapun waktu pelaksanaan pengujian dan penyusunan tugas sarjana ini dilaksanakan Januari 2022 sampai dinyatakan selesai. Bisa dilihat pada tabel 3.1 dan langkah – langkah pengujian yang dilakukan dibawah ini.

Tabel 3.1 Timeline Kegiatan

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan Penelitian	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1.	Penganjuan Judul	■					
2.	Studi Literatur	■					
3.	Penyediaan Alat dan Bahan		■				
4.	Pembuatan wet coling tower		■	■	■		
5.	Penyelesaian Tulisan				■	■	
6.	Seminar Hasil						■
7.	Sidang						■

3.2 Bahan dan alat

3.2.1 Bahan

Adapun bahan yang digunakan untuk pembuatan *fill wet* bergelombang pada *cooling tower* menggunakan bahan plat galvanis sebagai berikut :

1. Plat Galvalum

Plat Galvalum digunakan untuk bahan pembuatan *fill wet* bergelombang pada *cooling tower*. Dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Plat Galvalum

2. Gerinda Tangan

Gerinda tangan digunakan untuk menghaluskan permukaan pengelasan, dan juga untuk memotong bagian plat *filler wet* bergelombang *cooling tower*. Dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Gerinda Tangan

3. Mesin Las

Mesin las KW14-722 digunakan untuk menyatukan tiap-tiap benda kerja, terutama pada saat pengerjaan *filler* bergelombang pada *cooling tower*. Dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Mesin Las

4. Kaca Mata Las

Kacamata las berfungsi melindungi mata dari paparan cahaya las. Dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kaca Mata Las

5. Kawat Las

Kawat las digunakan untuk proses pengelasan *filler* bergelombang menara pendingin (*coling tower*). Dapat dilihat pada gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 3.5 Kawat las

6. Sarung Tangan

Sarung tangan berfungsi melindungi kulit tangan dari benda yang panas dan tajam. Dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Sarung Tangan

7. Bor Tangan

Bor tangan digunakan untuk melubangi benda kerja yang akan disatukan. Dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Bor Tangan

8. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur panjang pada filler wet colling tower. Dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Meteran

9. Palu

Digunakan untuk memberikan tumbukan kepada benda. Dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Palu

10. Flinkoat

Digunakan untuk melapisi permukaan plat supaya tidak berkarat. Dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Flinkoat

11. Cat

Untuk mewarnai alat *Cooling Tower*. Dapat dilihat pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Cat

12. Baut Dan Mur

Baut dan mur digunakan untuk mengikat atau mengunci komponen Menara Pendingin. Dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Bau dan Mur

13. Kuas

Kuas digunakan untuk menempelkan cat. Dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Kuas

14. Siku Las

Siku las digunakan untuk proses menyikukan saat pengelasan. Dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Siku Las

15. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang diameter luar maupun diameter dalam suatu benda. Dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Jangka Sorong

16. Blower

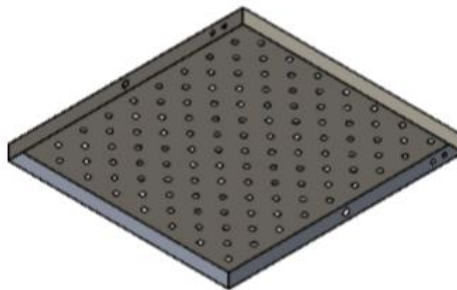
Blower yang di gunakan untuk menghasilkan kecepatan udara yang di butuhkan.

Spesifikasi tipe centrifugal air blower 3 in, daya 1,25 A, Tegangan 380 V. Dapat dilihat pada gambar 3.16.



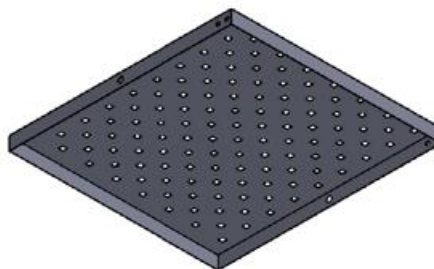
Gambar 3.16 *Blower*

17. *Splash fill* Bulat yang akan digunakan, Dapat dilihat pada gambar 3.17



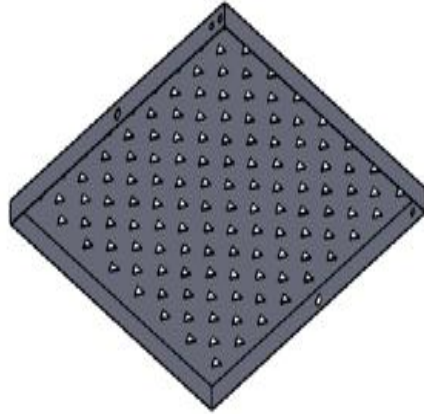
Gambar 3.17 *Splash Fill* Bulat

18. *Splash Fill* Kotak Yang Akan Digunakan , Dapat Dilihat Pada Gambar 3.18



Gambar 3.18 *Splash Fill* Kotak

19. *Splash Fill* Segitiga Yang Akan Digunakan, Dapat Dilihat Pada Gambar 3.19



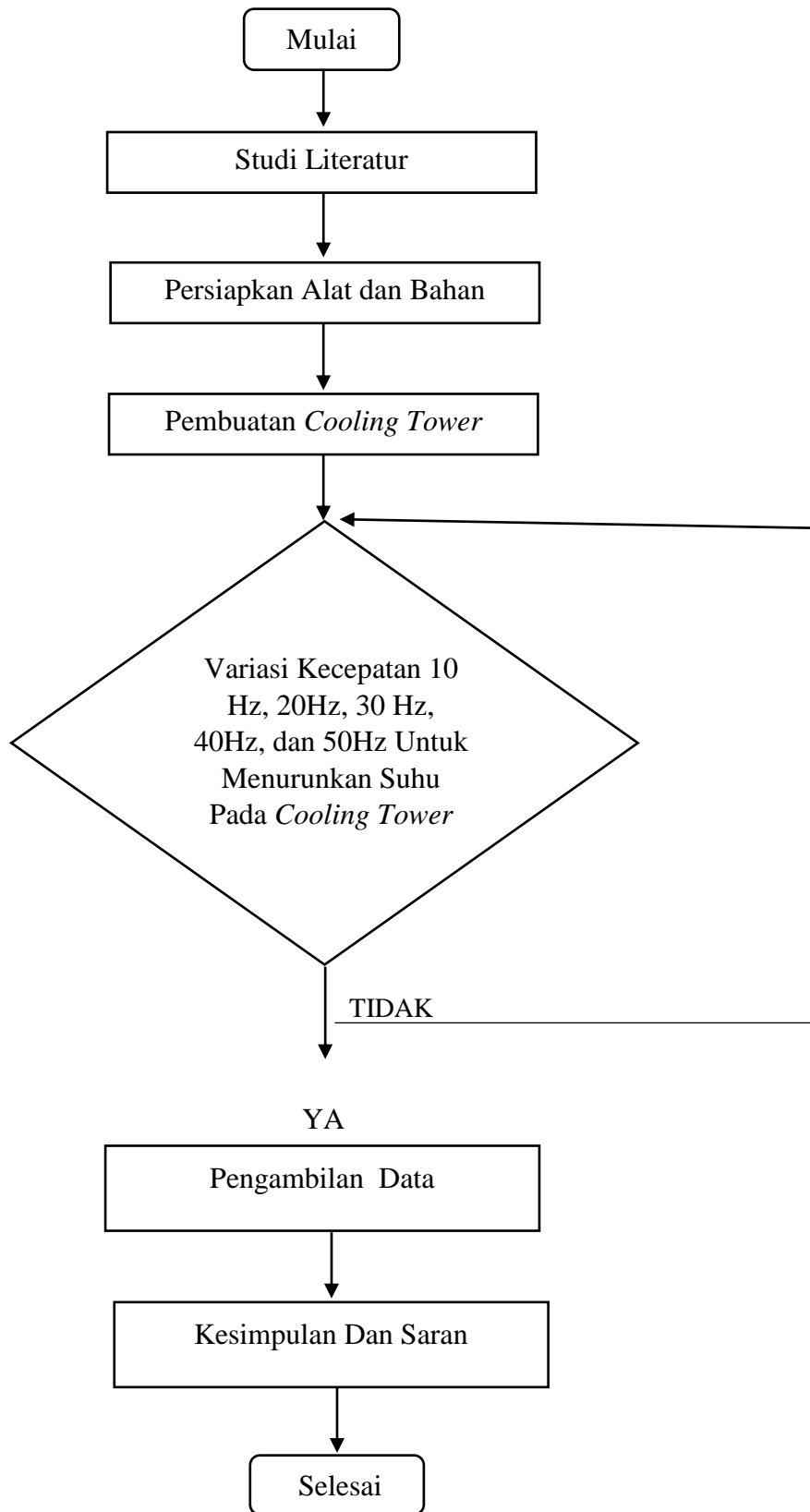
Gambar 3.19 *Splash Fill* Segitiga

20. Laptop digunakan untuk pengambilan data dari sensor arduino,Dapat dilihat pada gambar 3.20.



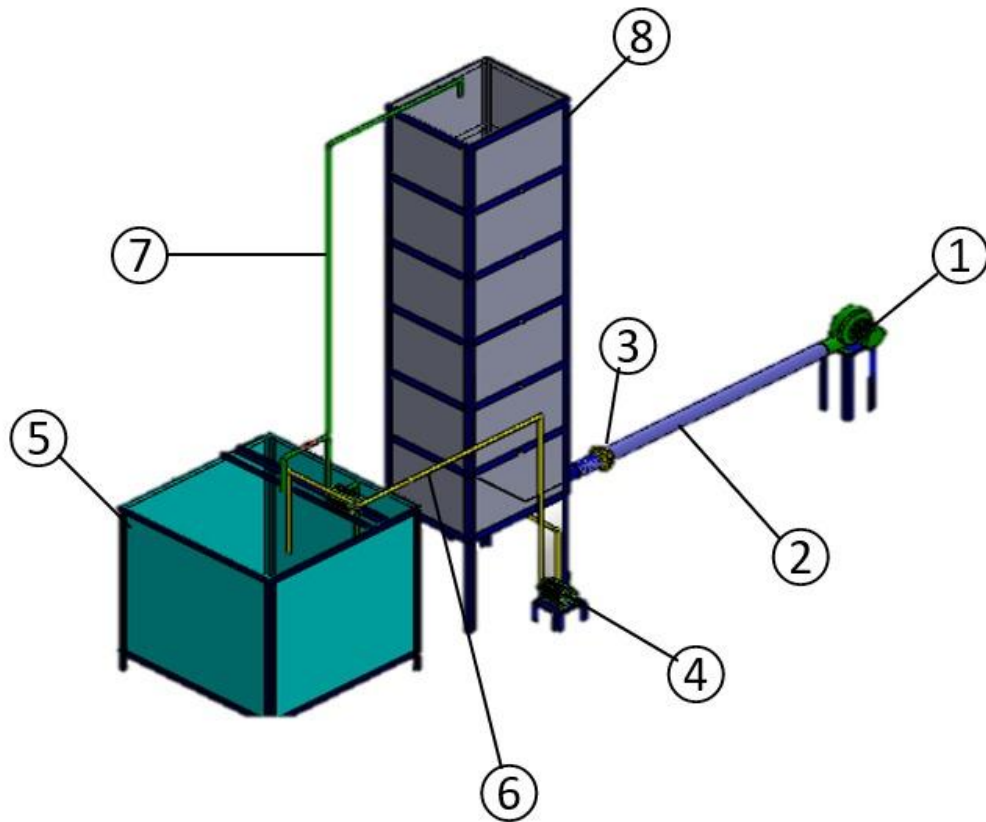
Gambar 3.20 Laptop

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.21 Diagram Alir

3.4 Perancangan Alat



Gambar 3.22 Bagian-Bagian *Wet Cooling Tower*

Keterangan :

1. *Blower*
2. Rangkaian Pipa
3. Sambungan Pipa Dengan Fungsi Venturimeter
4. Mesin Pompa Air
5. *Water Basin*
6. Pipa Air Keluar
7. Pipa Air Masuk
8. Wadah / Badan *Wet Cooling Tower*

3.5 Prosedur Pembuatan

Prosedur pembuatan *Wet Cooling Tower* atau (Menara Pendingi basah) dilakukan untuk menentukan hasil dari suatu produk atau mesin yang efektif. Dalam pembuatan *Wet Cooling Tower* dibutuhkan prosedur pembuatan sehingga dapat mempercepat proses pengerjaan serta meningkatkan efisiensi waktu dalam pengerjaan. Prosedur pembuatan *Wet Cooling Tower* disini meliputi.

3.5.1 Pembuatan Menara

1. Siapkan besi siku dengan ketebalan 3 mm lebar dari masing-masing sisi 40 x 40 mm sepanjang 3.075 mm sebanyak 4 batang, dan besi plat *strip* sebanyak 2 batang sepanjang 2.220 tebal 3 mm dengan lebar 40 mm
2. Lalu besi siku tersebut dihubungkan dengan proses pengelasan, kemudian dilakukan *assembling* pada ke 4 batang besi siku tersebut. Kemudian digunakan plat *strip* sebagai penghubung dari ke 4 batang besi sehingga menjadi satu kesatuan pada menara air

3.5.2 Pembuatan Dinding Menara Dan Pintu Menara

1. Siapkan akrilik dengan diameter 122 x 244 dan tebal 5 mm, lalu akrilik dipotong menjadi 4 bagian
2. Pengukuran sesuai dengan desain bagian dalam menara. Lalu pada bagian dinding depan menara dipotong lubang berbentuk persegi dengan ukuran 20 x 40 cm
3. Lalu lakukan pemasangan pada bagian dalam menara menggunakan mur dan baut pada sisi menara
4. Melakukan proses pengeleman pada setiap celah sambungan akrilik tersebut

3.5.3 Pembuatan Kotak Modul Sensor

1. Siapkan akrilik 210 x 297 mm tebal 2 mm sebanyak 2, lalu potong menjadi 190 x 150 mm sebanyak 2
2. Siapkan 4 lembar akrilik dengan tebal 2 mm, panjang 150 mm sisi atas dan bawah, sisi samping 190 mm dengan lebar 70 mm

3.5.4 Pembuatan Bingkai Dudukan Dan *Fill*

1. Siapkan plat *strip* 40 mm tebal 2 mm, sebanyak 4 batang
2. Siapkan Plat *galvalum* diameter 300 x 300 mm tebal 0.2 mm
3. Kemudian lipat ke empat sisi plat *galvalum* pada bingkai dudukan
4. Lalu hubungkan 4 bagian plat *strip* menjadi sebuah bingkai dengan proses pengelasan.

3.5.5 Pembuatan Pipa Aliran Air Dan Aliran Udara Menara

1. Siapkan pipa besi aliran air berdiameter $\frac{3}{4}$ sepanjang 3 m, Meliputi panjang pipa masuk 2.1 m , satu batang ukuran 20 cm, satu batang pipa aliran lebih 13 cm, satu batang pipa 30 cm, pipa hisap 18 cm dan pipa aliran udara sepanjang 2.3 m, diameter 3 inch.
2. Siapkan *elbow* diameter $\frac{3}{4}$ sebanyak 3 buah dan 3 inch, 1 buah.
3. Lalu hubungkan pipa tersebut pada bagian menara sesuai dengan gambar pada rancangan.

3.5.6 Perakitan

1. Pasang akrilik pada bagian dalam rangka menara, lalu *sealant* pada setiap sambungan dan satukan menggunakan baut dan mur.
2. Pasang bingkai pintu dan pintu kontrol menara dengan paku rivet.
3. Pasang kotak modul sensor pada bagian samping menara.
4. Pasangkan bingkai dudukan *fill* pada setiap tingkat bagian dalam menara yang telah disesuaikan dengan lubang dudukan as.
5. Pemasangan pipa aliran air pada dudukan yang telah di sesuaikan pada rancangan menara.
6. Kemudian pasang pipa aliran udara pada blower lalu hubungkan pada bagian bawah menara.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

Pada bab ini akan di analisis mengenai perpindahan panas, *range approach* dan efektifitas pada *wett cooling tower*. Dari hasil penelitian ini dapat diperoleh data perpindahan panas pada penelitian menggunakan metode eksperimental yaitu melakukan pengamatan secara langsung untuk mengetahui hubungan sebab dan akibat.

Pengujian dilakukan sengan kecepatan aliran udara dari frekuensi 10 hz – 50 hz. Dari hasil pengujian ini telah diperoleh temperatur air masuk *cooling tower* (T_{in}) dan keluar *cooling tower* (T_{out}). Makin besar selisih yang didapatkan, maka bisa dikatakan *cooling tower* tersebut kinerjanya sangat bagus dan *cooling tower* mampu bekerja secara efektif. Dan diperoleh temperatur air dingin yang keluar *cooling tower* (T_{out}) dengan temperatur bila basah (*wet bulb*) udara lingkungan (T_{WBamb}) sekitar *cooling tower*. Proses pengambilan data dilakukan setiap 15 menit sekali sehingga di dapat data yang cukup bagus dan akurat.

Pengujian ini dilakukan di Laboraturium teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dari pengamatan pada proses data yang berfokus pada perpindahan panas, *range*, *approach* dan efektifitas pada *cooling tower* saat pengujian di lakukan.

4.2 Perhitungan Data

4.2.1 Perhitungan Perpindahan Panas Pada *Fill* Bulat

Berikut ini akan di bahas cara mencari nilai perpindahan panas pada *fill* bulat yang di variasikan demgan kecepatan aliran udara 10hz – 50hz.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian *Fill* Bulat 9x8 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5 - Tlink	T5-tw b	Efektifitas	h2-h1
18,92	11,61	21,29	29,55	44,83719	31,90
9,46	12,23	18,30	26,88	47,58359	49,80
6,31	7,98	15,23	24,58	31,92699	73,40
4,73	10,10	13,55	23,01	39,74679	69,30
3,78	10,55	13,34	23,30	41,87737	64,00

Pada tabel data 4.1 dapat dihitung nilai perpindahan panas dari *fill* bulat 9 x 8 sudut 15° dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.1 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 57,68 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 9 x 8 Dari Tabel 4.1

Pada tabel data 4.1 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° yang nilai rata-rata dari tabel 4.1 T1 – T5 adalah:

$$15^\circ = 10,49^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.1 adalah:

$$15^\circ = 10,55^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.1 adalah :

$$15^\circ = 7,98^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 9 x 8

Pada tabel data 4.1 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 15° nilai rata – rata adalah:

$$15^\circ = 25,46^\circ\text{C}$$

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian *Fill* Bulat 9 x 8 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5 - Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	6,70	19,43	27,71	25,30055	51,00
9,46	8,12	16,17	24,42	30,28208	67,30
6,31	8,54	15,02	22,56	31,51022	60,10
4,73	9,86	14,61	21,98	36,50033	66,20
3,78	15,16	10,95	18,61	57,65672	35,50

Pada tabel data 4.2 dapat dihitung nilai perpindahan panas dari *fill* bulat 9 x 8 sudut 20° yang nilai rata – rata pada tabel 4.2 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 56,02 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 9 x 8

Pada tabel data 4.2 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut

Temperature Range pada sudut 20° yang nilai rata-rata dari tabel 4.2 T1 – T5 ialah:

$$20^\circ = 9,68^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.2 ialah:

$$20^\circ = 10,55^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.2 adalah:

$$20^\circ = 6,70^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 9 x 8

Pada tabel data 4.2 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.2 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 23,06^\circ C$$

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian *Fill* Bulat 9 x 8 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	12,85	20,65	27,32	49,03356	21,00
9,46	14,29	18,23	25,73	54,74392	47,70
6,31	14,45	14,90	22,95	55,5799	40,00
4,73	14,52	13,22	21,38	56,7184	31,00
3,78	15,55	12,35	19,85	58,90906	18,00

Pada tabel data 4.3 nilai perpindahan panas pada *fill* bulat 9 x 8 sudut 25° ,dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.3 h2-h1 adalah :

$$25^\circ = 31,54 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 9 x 8

Pada tabel data 4.3 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 25° nilai rata-rata dari tabel 4.3 T1 – T5 adalah :

$$25^\circ = 14,33^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.3 adalah:

$$25^\circ = 15,55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.3 adalah:

$$25^\circ = 12,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 9 x 8

Pada tabel data 4.3 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.3 T5 – twb ialah:

$$25^\circ = 23,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.2.2. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Bulat 10 x 9

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Bulat 10 x 9 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	11,36	19,46	26,06	42,71741	14,00
9,46	13,95	20,11	25,82	54,28317	25,20
6,31	13,65	13,54	19,56	53,5192	62,80
4,73	18,23	9,43	16,19	70,40403	70,30
3,78	10,04	16,85	23,81	38,31543	59,20

Pada tabel data 4.4 nilai perpindahan panas pada *fill* bulat 10 x 9 sudut 15° ,mencari nilai rata – rata pada tabel 4.4 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 46,30 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 10 x 9

Pada tabel data 4.4 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 15° dari tabel 4.4 ialah:

$$15^\circ = 13,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.4 ialah:

$$15^\circ = 18,23 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.4 ialah:

$$15^\circ = 10,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill Bulat* 10 x 9

Pada tabel data 4.4.diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.4 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 22,29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.5. Data Hasil Pengujian Pada *Fill Bulat* 10 X 9 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	7,25	20,60	27,50	27,79049	46,80
9,46	9,67	18,37	25,29	37,03845	61,40
6,31	8,34	18,42	25,69	31,9525	63,40
4,73	9,65	15,98	23,74	37,12134	73,30
3,78	10,36	14,85	22,19	40,01307	64,00

Pada Tabel Data 4.5 Nilai Perpindahan Panas Dari Sudut 20° pada *fill* bulat 10 x 9,nilai rata – rata pada tabel 4.5 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 56,02 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill Bulat* 10 x 9

Pada tabel data 4.5 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.5 adalah:

$$20^\circ = 9,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.5 adalah:

$$20^\circ = 10,36 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.5 adalah:

$$20^\circ = 7,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill Bulat* 10 x 9

Pada tabel data 4.5 nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata

dari tabel 4.5 T5 – twb ialah:

$$20^{\circ} = 24,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabel 4.6. Data Hasil Pengujian Pada Fill Bulat 10 X 9 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	8,28	19,51	27,18	33,64001	56,60
9,46	8,82	18,78	26,25	34,98121	67,80
6,31	10,33	16,17	24,40	41,31416	82,10
4,73	10,52	14,03	22,53	42,06637	61,50
3,78	12,71	12,76	20,70	50,65578	55,60

Pada Tabel Data 4.6 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* bulat 10 x 9 Dari Sudut 25°

, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.6 h2-h1 adalah :

$$25^{\circ} = 64,72 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 10 X 9

Pada tabel data 4.6 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.6 adalah :

$$25^{\circ} = 10,13 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.6 ialah:

$$25^{\circ} = 12,71 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.6 adalah:

$$25^{\circ} = 8,28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 10 X 9

Pada tabel data 4.6. diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.6 T5 – twb adalah:

$$25^{\circ} = 24,21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.2.3. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Bulat 11 X 10

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.7 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Bulat 11 X 10 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	11,60	18,10	26,06	44,09637	78,40

9,46	10,85	15,93	23,45	41,42319	94,30
6,31	14,57	12,09	19,82	57,34356	78,90
4,73	14,06	16,74	24,14	55,33587	131,20
3,78	11,63	12,33	19,15	44,74558	84,50

Pada tabel data 4.7 nilai perpindahan panas pada *fill* bulat 11 x 10 sudut 15° ,dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.7 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 93,46 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* pada *fill* bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.7 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° nilai rata-rata dari tabel 4.7 T1 – T5 adalah:

$$15^\circ = 12,54^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.7 ialah:

$$15^\circ = 14,06^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.7 ialah:

$$15^\circ = 10,85^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* pada *fill* bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.7. diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 22,52^\circ\text{C}$$

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Bulat 11 X 10 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	8,64	20,26	27,01	33,48597	48,20
9,46	9,16	18,52	25,15	36,80652	69,60
6,31	10,05	17,97	25,52	41,69574	107,50
4,73	13,20	15,44	22,76	53,22224	82,30
3,78	11,88	15,55	21,95	46,60333	85,10

Pada Tabel Data 4.8 Dapat Dihitung Nilai Perpindahan Panas Dari Sudut 20° pada *fill* bulat 11 x 10, nilai rata – rata pada tabel 4.8 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 78,54 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.8 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.8 adalah:

$$20^{\circ} = 10,59^{\circ}C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.8 adalah:

$$20^{\circ} = 13,20^{\circ}C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.8 adalah:

$$20^{\circ} = 8,64^{\circ}C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.8. dapat diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.8 T5 – twb ialah:

$$20^{\circ} = 24,48^{\circ}C$$

Tabel 4.9. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Bulat 11 x 10 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,72	18,12	26,89	29,91871	111,60
9,46	9,46	17,03	25,66	37,23173	59,70
6,31	10,30	14,65	23,04	40,55467	69,30
4,73	11,32	14,34	21,84	45,08515	54,20
3,78	12,79	14,87	21,52	50,16918	178,10

Pada Tabel Data 4.9 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* bulat 11 x 10 pada *fill* bulat 11 x 10 Sudut 25° ,dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.9 h2-h1 adalah :

$$25^{\circ} = 94,58 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.9 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° tabel 4.9 adalah:

$$25^\circ = 10,32^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.9 ialah:

$$25^\circ = 12,79^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.9 adalah:

$$25^\circ = 7,72^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Bulat 11 x 10

Pada tabel data 4.9 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.9 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 23,79^\circ C$$

4.2.4. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Segitiga 9 x 8

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.10. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 9 x 8 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	6,72	14,74	23,16	25,86	44,70
9,46	10,78	13,98	22,27	41,44	66,70
6,31	13,27	11,91	20,23	51,05	71,60
4,73	12,82	11,40	19,78	49,29	64,50
3,78	13,94	10,26	17,91	53,60	53,90

Pada tabel data 4.10 nilai perpindahan panas pada *fill* segitiga 9 x 8 sudut 15° , dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.10 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 60,28 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* pada *fill* segitiga 9 x 8

Pada tabel data 4.10 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° dari tabel 4.10 adalah:

$$15^\circ = 11,50^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.10 ialah:

$$15^\circ = 13,94^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.10 ialah:

$$15^\circ = 6,72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* pada *fill* segitiga 9 x 8

Pada tabel data 4.10 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 20,67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 9 x 8 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92152	12,67	17,42	24,22	48,732308	52,00
9,460761	13,89	16,11	23,29	53,429231	81,10
6,307174	14,59	11,89	19,53	56,12	74,50
4,730381	16,00	10,49	17,34	63,9888	66,40
3,784304	16,12	9,43	16,09	62,000385	60,10

Pada Tabel Data 4.11 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* bulat 11 x 10 Sudut 20° ,nilai rata – rata pada tabel 4.11 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 66,82 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 9 x 8

Pada tabel data 4.11 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 20° adalah:

$$20^\circ = 14,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.11 adalah:

$$20^\circ = 16,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.11 adalah:

$$20^\circ = 12,67 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 9 x 8

Pada tabel data 4.11 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.11 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 20,09 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.12. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 9 x 8 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	9,75	20,47	27,06	37,52	70,90
9,46	11,06	18,65	25,50	44,26	84,40
6,31	12,59	17,50	23,40	50,38	85,70
4,73	13,13	14,79	20,20	52,53	76,40
3,78	18,61	9,72	14,97	74,46	76,00

Pada Tabel Data 4.12 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* segitiga 9 x 8 Sudut 25°, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.12 h2-h1 adalah :

$$25^\circ = 78,68 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 9 x 8

Pada tabel data 4.12 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.12 adalah:

$$25^\circ = 13,03^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.12 ialah:

$$25^\circ = 18,61^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.12 adalah:

$$25^\circ = 9,75^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 9 x 8

Pada tabel 4.12 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.12 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 22,22^\circ C$$

4.2.5. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Segitiga 10 x 9

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 10 x 9 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	Efektifitas	h2-h1
18,92	8,27	23,10	29,41	31,8109	94,80
9,46	9,64	20,77	26,96	37,0917	128,20

6,31	9,91	17,57	23,32	38,1181	118,10
4,73	11,79	15,30	19,45	42,1025	107,80
3,78	12,11	14,44	20,79	46,5774	105,80

Pada tabel data 4.13 nilai perpindahan panas pada *fill* segitiga 10 x 9 sudut 15° ,mencari nilai rata – rata pada tabel 4.13 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 110,94 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* pada *fill* segitiga 10 x 9

Pada tabel data 4.13. diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan range minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 15° didapat nilai rata-rata dari tabel 4.13 T1 – T5 ialah:

$$15^\circ = 10,34^\circ \text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.13 ialah:

$$15^\circ = 12,11^\circ \text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.13 ialah:

$$15^\circ = 8,27^\circ \text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* pada *fill* segitiga 10 x 9

Pada tabel data 4.13 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.13 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 23,99^\circ \text{C}$$

Tabel 4.14. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 10 x 9 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	8,32	20,12	28,11	32,0055	45,10
9,46	9,27	21,63	28,82	37,0714	82,10
6,31	9,66	19,73	26,48	38,623	88,00
4,73	10,69	17,35	23,50	41,1058	71,30
3,78	11,36	16,37	22,73	43,708	76,80

Pada Tabel Data 4.14 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* segitiga 10 x 9 Sudut 20° ,nilai rata – rata pada tabel 4.14 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 72,66 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 10 x 9

Pada tabel data 4.14 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.14 adalah:

$$20^{\circ} = 9,86^{\circ}C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.14 adalah:

$$20^{\circ} = 11,32^{\circ}C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.14 adalah:

$$20^{\circ} = 8,32^{\circ}C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 10 x 9

Pada tabel data 4.14 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.14 T5 – twb ialah:

$$20^{\circ} = 25,93^{\circ}C$$

Tabel 4.15. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 10 x 9 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,87	20,85	27,25	29,1446	83,20
9,46	8,34	20,00	26,72	32,0933	107,10
6,31	8,92	19,46	26,44	35,6746	107,10
4,73	10,17	17,35	23,66	39,1216	118,20
3,78	11,36	17,45	23,66	40,0679	120,50

Pada Tabel Data 4.15 Nilai Perpindahan Panas pada *fill* segitiga 10 x 9 Sudut 25° dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.15 h2-h1 adalah :

$$25^{\circ} = 107,22 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 10 x 9

Pada tabel data 4.15 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.15 adalah:

$$25^\circ = 9,33 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.15 ialah:

$$25^\circ = 11,37 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.15 adalah:

$$25^\circ = 7,87 \text{ } ^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 10 x 9

Pada tabel 4.15 nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.15 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 25,55 \text{ } ^\circ C$$

4.2.6. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Segitiga 11 x 10

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.16. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 11 x 10 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	8,13	23,06	29,19	31,88944	93,50
9,46	17,26	5,05	13,52	46,26582	28,30
6,31	18,93	3,17	12,09	50,74755	22,70
4,73	20,86	0,18	9,28	55,93197	22,90
3,78	18,93	-0,26	10,00	52,29815	30,60

Pada tabel data 4.16 nilai perpindahan panas pada *fill* segitiga 11 x 10 sudut 15° , dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.16 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 39,60 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* pada *fill* segitiga 11 x 10

Pada tabel data 4.16. diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° didapat nilai rata-rata dari tabel 4.16 T1 – T5 ialah:

$$15^\circ = 16,82 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.16 ialah:

$$15^\circ = 18,93 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.16 ialah:

$$15^\circ = 8,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* pada *fill* segitiga 11 x 10

Pada tabel data 4.16 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.16 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 14,81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.17. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 11 x 10 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,12	13,37	24,72	22,44706	31,00
9,46	13,15	17,39	24,50	50,56169	68,20
6,31	16,08	13,78	20,71	62,3345	61,20
4,73	15,73	14,12	21,61	60,73913	65,80
3,78	21,31	-8,20	1,18	53,94943	-25,10

Pada Tabel Data 4.17 Nilai Perpindahan Panas *fill* segitiga 11 x 10 Sudut 20° ,nilai rata – rata pada tabel 4.17 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 40,22 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 11 x 10

Pada tabel data 4.17. diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.17 adalah:

$$20^\circ = 14,68 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.17 adalah:

$$20^\circ = 21,31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.17 adalah:

$$20^\circ = 7,12 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 11 x 10

Pada tabel data 4.17 nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.17 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 18,54 \text{ } ^\circ C$$

Tabel 4.18. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Segitiga 11 x 10 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	11,81	19,13	25,83	45,23728	53,20
9,46	10,67	18,54	25,24	41,05341	64,50
6,31	12,58	16,35	22,87	48,77341	91,60
4,73	15,38	14,41	21,21	60,5656	100,90
3,78	15,21	13,26	13,26	59,63405	96,80

Pada Tabel Data 4.18 Nilai Perpindahan Panas *fill* segitiga 11 x 10 Dari Sudut 25°

, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.18 h2-h1 adalah :

$$25^\circ = 81,40 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Segitiga 11 x 10

Pada tabel data 4.18 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.18 adala :

$$25^\circ = 13,13 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.18 ialah:

$$25^\circ = 15,21 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.18 adalah:

$$25^\circ = 10,67 \text{ } ^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Segitiga 11 x 10

Pada tabel 4.18 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.18 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 21,68 \text{ } ^\circ C$$

4.2.7. Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 9 x 8 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,18	20,87	29,21	27,95489	40,90
9,46	8,32	20,46	28,17	32,25977	64,40
6,31	8,90	18,16	25,79	34,48317	68,40
4,73	9,58	18,10	25,29	37,12871	60,40
3,78	10,82	16,75	23,66	41,45328	58,00

Pada tabel data 4.19 nilai perpindahan panas pada *fill* kotak 9 x 8 sudut 15°, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.19 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 58,42 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pada tabel data 4.19 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° nilai rata-rata dari tabel 4.19 T1 – T5 adalah:

$$15^\circ = 7,56 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.19 ialah:

$$15^\circ = 10,82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.19 ialah:

$$15^\circ = 7,18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pada tabel data 4.19 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.19 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 26,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.20 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 9 x 8 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
-----	--------	----------	--------	-------------	-------

18,92	5,66	22,97	30,73	22,4663	61,60
9,46	6,54	20,35	28,32	25,8336	101,90
6,31	7,10	18,35	26,80	28,4134	101,70
4,73	9,23	19,15	27,79	37,226	113,10
3,78	9,27	15,97	23,76	36,4953	75,50

Pada Tabel Data 4.20 Nilai Perpindahan Panas Dari Sudut 20° pada *fill* kotak 9 x 8, nilai rata – rata pada tabel 4.20. h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 90,76 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pada tabel data 4.20 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.20 adalah:

$$20^\circ = 7,56^\circ \text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.20 adalah:

$$20^\circ = 9,27^\circ \text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.20 adalah:

$$20^\circ = 5,66^\circ \text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pada tabel data 4.20 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.20 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 27,48^\circ \text{C}$$

Tabel 4.21. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 9 x 8 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	8,01	20,43	28,42	31,4187	73,70
9,46	8,33	20,31	28,75	33,2038	113,00
6,31	7,83	18,07	26,48	30,9308	110,20
4,73	11,48	16,72	24,33	43,9878	103,40
3,78	13,42	15,58	24,40	53,4718	98,90

Pada Tabel Data 4.21. Nilai Perpindahan Panas *Fill* Dari Kotak 9 x 8 Sudut 25°

, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.21 h2-h1 adalah :

$$25^\circ = 99,84 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 9 X 8

Pada tabel data 4.21 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.21 adalah:

$$25^\circ = 9,81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.21 ialah:

$$25^\circ = 13,42 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.21 adalah:

$$25^\circ = 8,01 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 9 x 8

Pada tabel 4.21 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.21 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 26,48 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.2.8 Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.22. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 10 x 9 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	6,22	22,48	30,69	24,0238	61,40
9,46	7,24	20,28	28,43	28,1764	93,30
6,31	5,75	18,09	26,09	22,3036	84,40
4,73	8,21	17,94	25,78	32,2073	99,70
3,78	8,76	16,01	23,27	34,2353	82,70

Pada tabel data 4.22 nilai perpindahan panas pada *fill* kotak 10 x 9 sudut 15° , dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.22 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 84,20 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel data 4.22 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° nilai rata-rata dari tabel 4.22 T1 – T5 adalah:

$$15^\circ = 7,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.22 ialah:

$$15^\circ = 8,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.22 ialah:

$$15^\circ = 5,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel data 4.22 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.22 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 26,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.23 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 10 x 9 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	6,20	20,27	26,34	23,569	71,50
9,46	9,04	19,17	26,28	35,4543	119,10
6,31	10,68	16,80	23,15	40,7542	99,70
4,73	12,81	13,99	19,58	49,0995	98,10
3,78	14,08	12,92	17,52	52,5482	94,70

Pada Tabel Data 4.23 Nilai Perpindahan Panas Sudut 20° pada *fill* kotak 10 x 9, nilai rata – rata pada tabel 4.23 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 96,62 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel data 4.23 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.23 adalah:

$$20^\circ = 10,56^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.23 adalah:

$$20^\circ = 14,08^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.23 adalah:

$$20^\circ = 6,20^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel data 4.23 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.23 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 22,58^\circ C$$

Tabel 4.24 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 10 x 9 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	8,00	22,43	28,80	30,4159	74,30
9,46	9,69	18,28	24,65	36,7185	80,60
6,31	10,12	15,35	22,04	38,6191	64,60
4,73	11,85	14,48	21,71	46,2754	81,00
3,78	11,46	12,69	20,74	44,772	74,40

Pada Tabel Data 4.24 Nilai Perpindahan Panas *fill* Kotak 10 x 9 Sudut 25° dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.24 h2-h1 adalah :

$$25^\circ = 74,98 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel data 4.24 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25° dari tabel 4.24 adalah :

$$25^\circ = 10,22^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.24 ialah:

$$25^\circ = 11,85^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.24 adalah:

$$25^\circ = 8^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 10 x 9

Pada tabel 4.24 nilai *approach* pada sudut 25° , dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.24 T5 – twb adalah:

$$25^\circ = 23,59 \text{ } ^\circ C$$

4.2.9 Pengujian Perpindahan Panas Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pengujian ini di variasikan dengan kecepatan *blower* 10hz – 50hz

Tabel 4.25. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 11 x 10 Sudut 15°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,737624	21,58193	28,8302	29,875	83,6
9,46	10,4047	18,58106	25,61077	40,01809	134,4
6,31	11,02042	16,51658	23,38985	42,38623	141,9
4,73	11,05198	15,86955	22,57376	42,83713	215
3,78	11,92698	13,24988	20,28181	45,69724	209,7

Pada tabel data 4.25 nilai perpindahan panas pada *fill* kotak 11 x 10 sudut 15° dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.25 h2-h1 adalah :

$$15^\circ = 143,73 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pada tabel data 4.25 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 15° nilai rata-rata dari tabel 4.25 T1 – T5 adalah:

$$15^\circ = 10,43 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 15° dari tabel 4.25 ialah:

$$15^\circ = 11,92 \text{ } ^\circ C$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 15° dari tabel 4.25 ialah:

$$15^\circ = 7,73 \text{ } ^\circ C$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pada tabel data 4.25 diperoleh nilai *approach* pada sudut 15° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.25 T5 – twb ialah:

$$15^\circ = 24,13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.26 Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 11 x 10 Sudut 20°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,87	22,14	29,41	31,1436	67,4
9,46	9,58	18,14	25,25	37,73778	109,3
6,31	10,95	16,02	22,81	42,9504	106,2
4,73	11,74	15,47	22,67	46,2233	108
3,78	13,05	13,80	21,04	51,0133	73,7

Pada Tabel Data 4.26 Nilai Perpindahan Panas Dari Sudut 20° pada *fill* kotak 11 x 10, nilai rata – rata pada tabel 4.26 h2-h1 adalah :

$$20^\circ = 97,73\text{kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pada tabel data 4.26 diperoleh *range*, nilai *range* maksimum dan nilai *range* minimum setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 20° dari tabel 4.26 adalah:

$$20^\circ = 10,64 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 20° dari tabel 4.26 adalah:

$$20^\circ = 13,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 20° dari tabel 4.26 adalah:

$$20^\circ = 7,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pada tabel data 4.26 diperoleh nilai *Approach* pada sudut 20° dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.26 T5 – twb ialah:

$$20^\circ = 24,24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabel 4.27. Data Hasil Pengujian Pada *Fill* Kotak 11 x 10 Sudut 25°

L/G	T1 -T5	T5-Tlink	T5-twb	efektifitas	h2-h1
18,92	7,43	19,45	16,51	9,0333	120,9
9,46	7,80	17,35	10,60	9,517629	155,5
6,31	8,64	15,45	10,62	10,57427	140,8
4,73	12,46	14,78	9,91	15,34989	139,8
3,78	11,53	13,00	8,93	18,34202	137,5

Pada Tabel Data 4.27. Nilai Perpindahan Panas *fill* Dari Kotak 11 x 10 Sudut 25°

, dengan mencari nilai rata – rata pada tabel 4.27 h2-h1 adalah :

$$25^{\circ} = 183,90 \text{ kg/J}$$

Perhitungan *Temperature Range* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

Pada tabel data 4.27 diperoleh *range* dan nilai *range* maksimum dan minimum pada setiap sudut.

Temperature Range pada sudut 25°

$$25^{\circ} = 9,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* maksimum pada sudut 25° dari tabel 4.27 ialah:

$$25^{\circ} = 12,46 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Nilai *Temperature Range* minimum pada sudut 25° dari tabel 4.27 adalah:

$$25^{\circ} = 7,43 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Perhitungan *Temperature Approach* Pada *Fill* Kotak 11 x 10

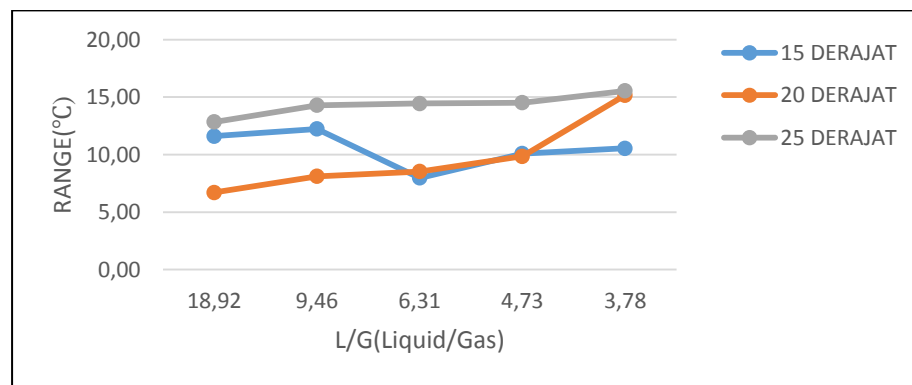
Pada tabel 4.27 diperoleh nilai *approach* pada sudut 25°, dengan menghitung rata – rata dari tabel 4.27 T5 – twb adalah:

$$25^{\circ} = 11,32 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4.3. Pembahasan

4.3.1. Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Bulat

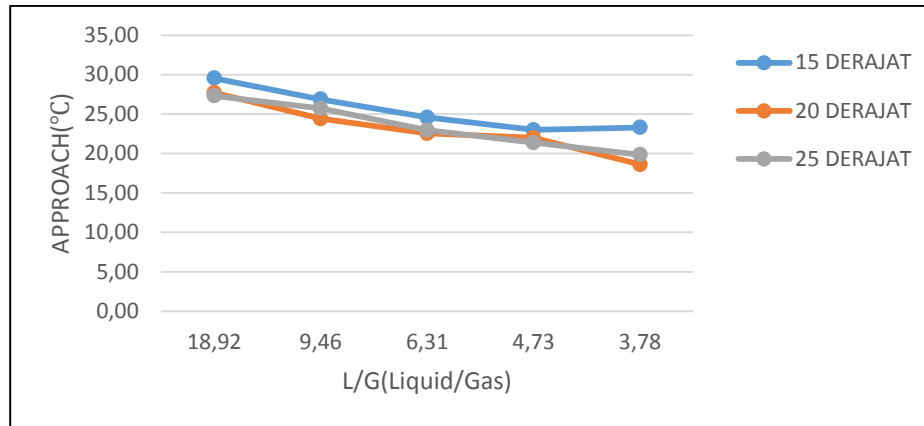
1. Grafik Nilai *Temperature Range Fill* Bulat 9 X 8



Gambar 4.1 Grafik *Temperature Range Fill* Bulat 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.1 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,61 °C dikecepatan 10Hz, 12,23 °C dikecepatan 20Hz, 7,98 °C dikecepatan 30Hz, 10,10 °C dikecepatan 40Hz, 10,55 °C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20°di dapatkan hasil 6,70 °C dikecepatan 10Hz, 8,12 °C dikecepatan 20 Hz, 8,54 °C dikecepatan 30Hz, 9,86 °C dikecepatan 40Hz, 15,16 °C dikecepatan 50 Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 12,85 °C dikecepatan 10 Hz, 14,29 °C dikecepatan 20Hz, 14,45 °C dikecepatan 30Hz, 14,52 °C dikecepatan 40Hz, 15,55 °C dikecepatan 50Hz.

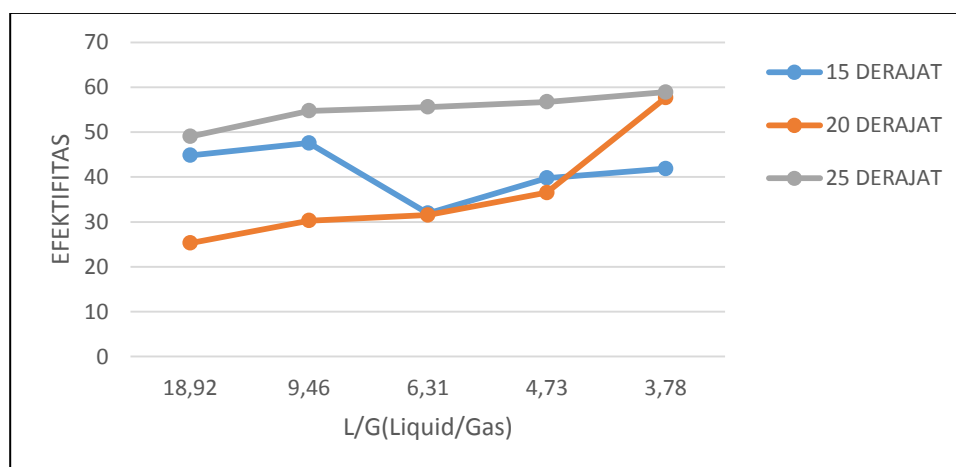
2. Grafik Nilai *Temperature Approach Fill* Bulat 9 X 8



Gambar 4.2 Grafik *Temperature Approach* *Fill* Bulat 9 X 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.2 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° di dapatkan hasil 29,55⁰C dikecepatan 10Hz, 26,88⁰C dikecepatan 20Hz, 24,58⁰C dikecepatan 30Hz, 23,01⁰C dikecepatan 40Hz, 23,30⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° di dapatkan hasil 27,71⁰C dikecepatan 10 Hz, 24,42⁰C dikecepatan 20 Hz, 22,56⁰C dikecepatan 30 Hz, 21,98⁰C dikecepatan 40Hz, 18,61⁰C dikecepatan 50 Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 27,32⁰C dikecepatan 10 Hz, 25,73⁰C dikecepatan 20 Hz, 22,95⁰C dikecepatan 30 Hz, 21,38⁰C dikecepatan 40 Hz, 19,85⁰C dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Bulat 9 X 8

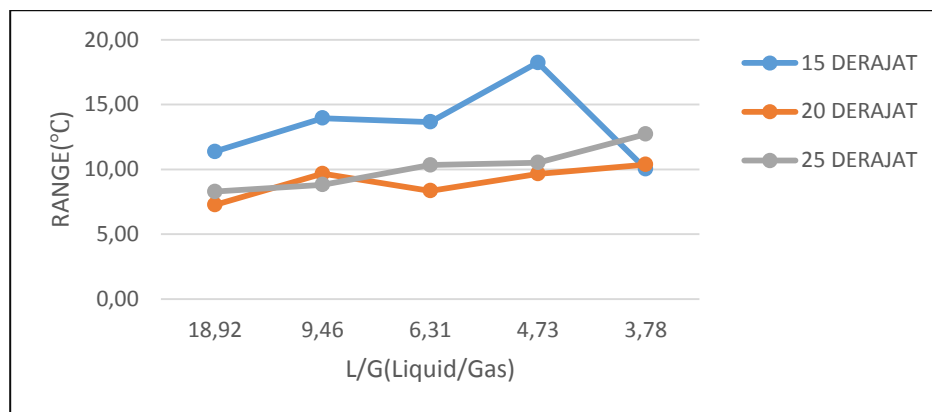


Gambar 4.3 Grafik Efektifitas *Fill* Bulat 9 X 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.3 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,84 dikecepatan 10Hz, 47,58 dikecepatan 20Hz, 31,93 dikecepatan 30Hz, 39,75 dikecepatan 40Hz, 41,87 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° di dapatkan hasil 25,03 dikecepatan 10Hz, 30,28 dikecepatan 20Hz, 31,51 dikecepatan 30Hz, 36,50 dikecepatan 40Hz, 57,65 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 49,03 dikecepatan 10Hz, 54,74 dikecepatan 20Hz, 55,74 dikecepatan 30Hz, 56,71 dikecepatan 40Hz, 58,91 dikecepatan 50Hz.

4.3.2 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Bulat

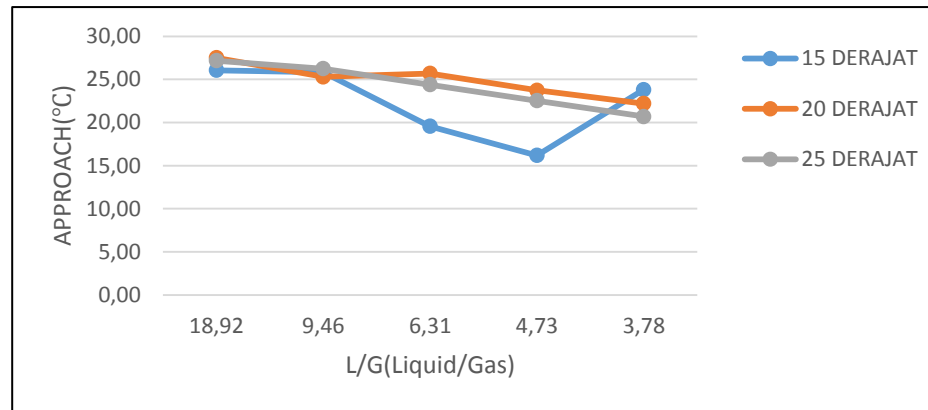
1. Grafik Nilai *Temperature Range Fill* Bulat 10 x 9



Gambar 4.4 Grafik *Temperature Range Fill* Bulat 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.6 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,36⁰C dikecepatan 10Hz, 13,95⁰C dikecepatan 20Hz, 13,65⁰C dikecepatan 30Hz, 18,23⁰C dikecepatan 40Hz, 10,04⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 7,25⁰C dikecepatan 10Hz, 9,67⁰C dikecepatan 20Hz, 8,34⁰C dikecepatan 30Hz, 9,65⁰C dikecepatan 40Hz, 10,36⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 8,28⁰C dikecepatan 10Hz, 8,82⁰C dikecepatan 20Hz, 10,33⁰C dikecepatan 30Hz, 10,52⁰C dikecepatan 40Hz, 12,71⁰C dikecepatan 50Hz.

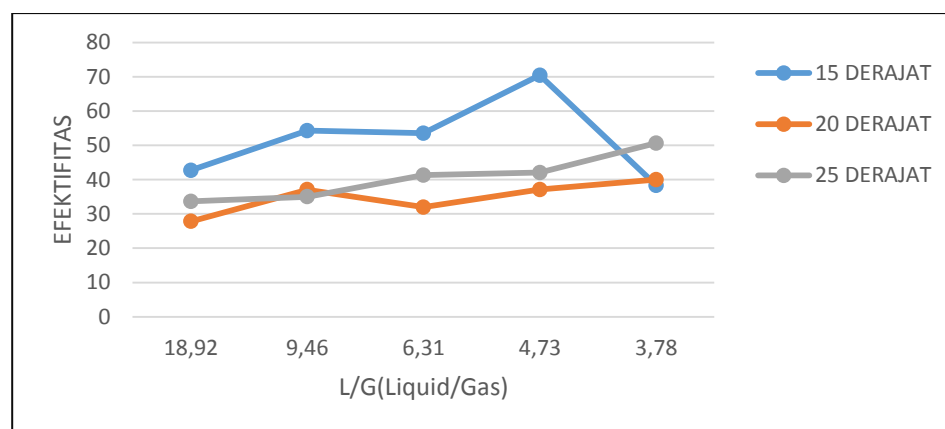
2. Grafik Nilai *Temperature Approach Fill* Bulat 10 x 9



Gambar 4.5 Grafik *Temperature Approach Fill* Bulat 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.7 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06⁰C dikecepatan 10Hz, 25,82⁰C dikecepatan 20Hz, 19,56⁰C dikecepatan 30Hz, 16,19⁰C dikecepatan 40Hz, 23,81⁰C dikecepatan 50Hz Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,79⁰C dikecepatan 10Hz, 37,03⁰C dikecepatan 20Hz, 31,95⁰C dikecepatan 30Hz, 37,12⁰C dikecepatan 40Hz, 40,01⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 27,18⁰C dikecepatan 10Hz, 26,25⁰C dikecepatan 20Hz, 24,40⁰C dikecepatan 30Hz, 22,53⁰C dikecepatan 40Hz, 20,70⁰C dikecepatan 50 Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Bulat 10 x 9

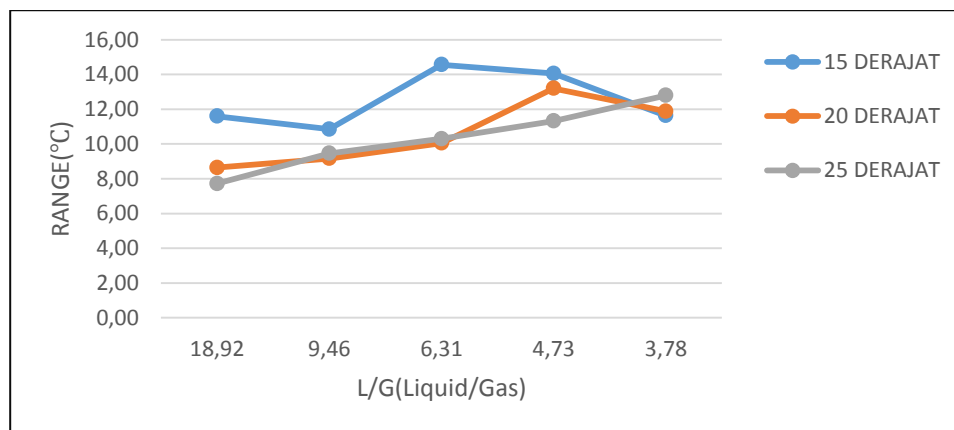


Gambar 4.6 Grafik Efektifitas *Fill* Bulat 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.8 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 42,71 dikecepatan 10Hz, 54,28 dikecepatan 20Hz, 53,51 dikecepatan 30Hz, 70,30 dikecepatan 40Hz, 38,31 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° di dapatkan hasil 27,79 dikecepatan 10Hz, 37,03 dikecepatan 20Hz, 31,95 dikecepatan 30Hz, 37,12 dikecepatan 40Hz, 40,01 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 33,64 dikecepatan 10Hz, 34,98 dikecepatan 20Hz, 41,31 dikecepatan 30Hz, 42,06 dikecepatan 40Hz, 50,65 dikecepatan 50Hz.

4.3.3 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Bulat

1. Grafik Pada Nilai *Temperature Range Fill* Bulat 11 x 10

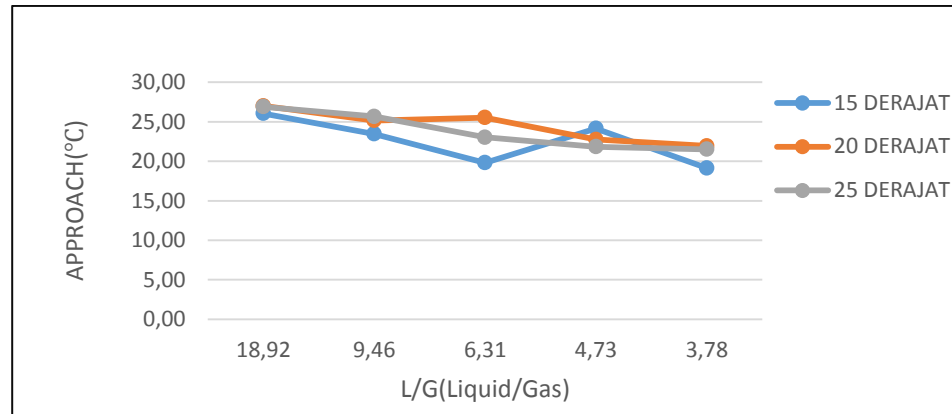


Gambar Grafik 4.7 *Temperature Range Fill* Bulat 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.7 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang diuji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,60°C dikecepatan 10Hz, 10,85°C dikecepatan 20Hz, 14,57°C dikecepatan 30Hz, 14,06°C dikecepatan 40Hz, 11,63°C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 8,64°C dikecepatan 10Hz, 9,16°C dikecepatan 20Hz, 10,05°C dikecepatan 30Hz, 13,20°C dikecepatan 40Hz, 11,88°C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25°

didapatkan hasil $7,72^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 10Hz, $9,46^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 20Hz, $10,30^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 30Hz, $11,32^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 40Hz, $12,79^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 50Hz.

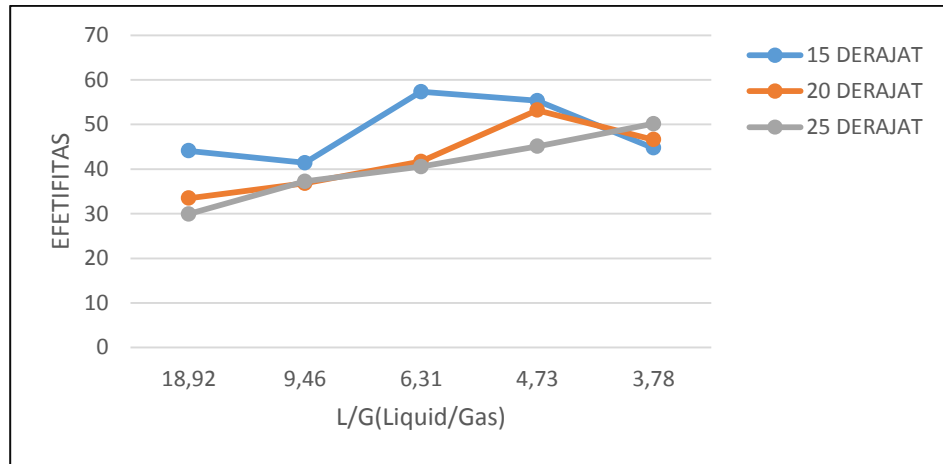
2. Grafik Pada Nilai *Temperature Approach Fill* Bulat 11 x 10



Gambar Grafik 4.8 *Temperature Approach Fill* Bulat 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.8 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil $26,06^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 10Hz, $23,45^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 20Hz, $19,82^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 30Hz, $24,14^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 40Hz, $19,15^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil $27,01^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 10Hz, $25,15^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 20Hz, $25,52^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 30Hz, $22,76^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 40Hz, $21,95^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil $26,89^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 10Hz, $25,66^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 20Hz, $23,04^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 30Hz, $21,84^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 40Hz, $21,52^{\circ}\text{C}$ dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *fill* Bulat 11 x 10

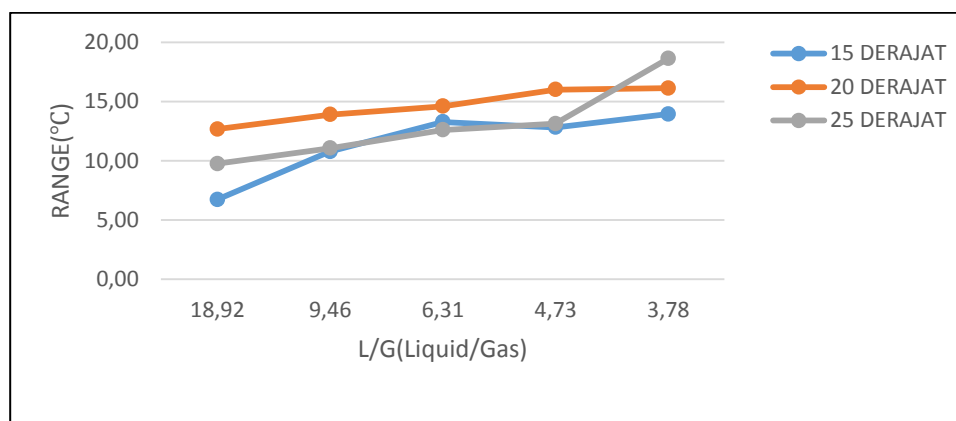


Gambar grafik 4.9 Efektifitas fill bulat 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.9 di tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,42 dikecepatan 20Hz, 57,34 dikecepatan 30Hz, 55,33 dikecepatan 40Hz, 44,74 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° di dapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 20Hz, 41,69 dikecepatan 30Hz, 53,22 dikecepatan 40Hz, 46,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 29,91 dikecepatan 10Hz, 37,23 dikecepatan 20Hz, 40,55 dikecepatan 30Hz, 45,08 dikecepatan 40Hz, 50,16 dikecepatan 50Hz.

4.3.4 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Segitiga

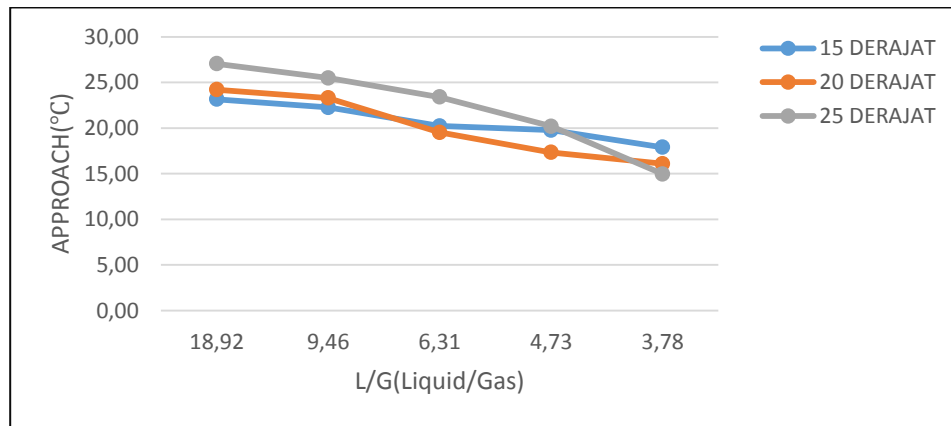
2. Grafik Nilai *Temperture Range Fill* Segitiga 9 x 8



Gambar Grafik 4.10 *Temperture Range Fill* Segitiga 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.10 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 6,72⁰C dikecepatan 10Hz, 10,78⁰C dikecepatan 20Hz, 13,27⁰C dikecepatan 30Hz, 12,82⁰C dikecepatan 40Hz, 13,94⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 12,67⁰C dikecepatan 10Hz, 13,89⁰C dikecepatan 20Hz, 14,59⁰C dikecepatan 30Hz, 16⁰C dikecepatan 40Hz, 16,12⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 9,75⁰C dikecepatan 10Hz, 11,06⁰C dikecepatan 20Hz, 12,59⁰C dikecepatan 30Hz, 13,13⁰C dikecepatan 40Hz, 18,61⁰C dikecepatan 50Hz.

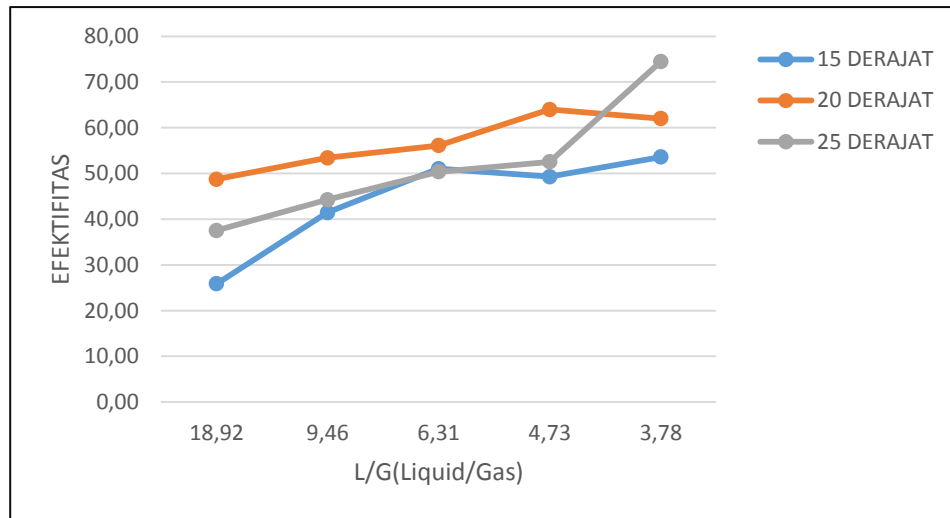
3. Grafik Pada Nilai *Temperture Approach* Fill Segitiga 9 x 8



Gambar Grafik 4.11 *Temperture Approach* Fill Segitiga 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.11 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 23,16⁰C dikecepatan 10Hz, 22,27⁰C dikecepatan 20Hz, 20,23⁰C dikecepatan 30Hz, 19,78⁰C dikecepatan 40Hz, 17,91⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 24,22⁰C dikecepatan 10Hz, 23,29⁰C dikecepatan 20Hz, 19,53⁰C dikecepatan 30Hz, 17,34⁰C dikecepatan 40Hz, 16,09⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 27,06⁰C dikecepatan 10Hz, 25,50⁰C dikecepatan 20Hz, 23,40⁰C dikecepatan 30Hz, 20,20⁰C dikecepatan 40Hz, 14,97⁰C dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Segitiga 9 x 8

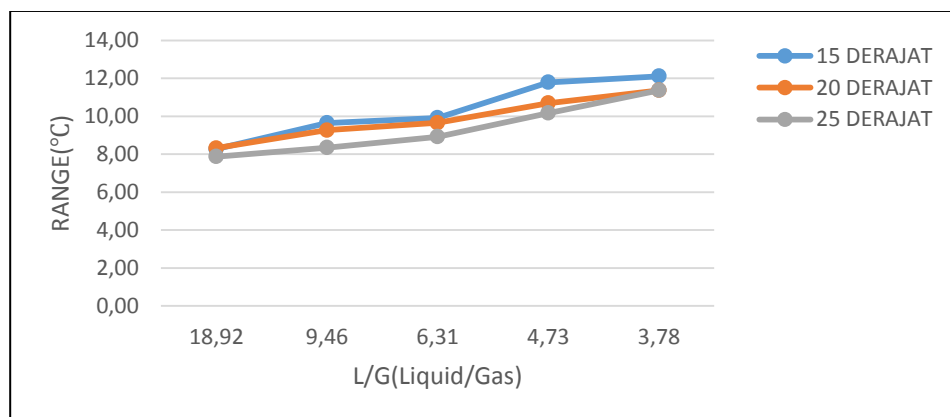


Gambar 4.12 Grafik Efektifitas *Fill* Segitiga 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.12 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 25,86 dikecepatan 10Hz, 41,44 dikecepatan 20Hz, 51,05 dikecepatan 30Hz, 49,29 dikecepatan 40Hz, 53,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 48,73 dikecepatan 10Hz, 53,42 dikecepatan 20Hz, 56,12 dikecepatan 30Hz, 63,98 dikecepatan 40Hz, 62 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 37,52 dikecepatan 10Hz, 44,26 dikecepatan 20Hz, 50,38 dikecepatan 30Hz, 52,53 dikecepatan 40Hz, 74,46 dikecepatan 50Hz.

4.3.5 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Segitiga

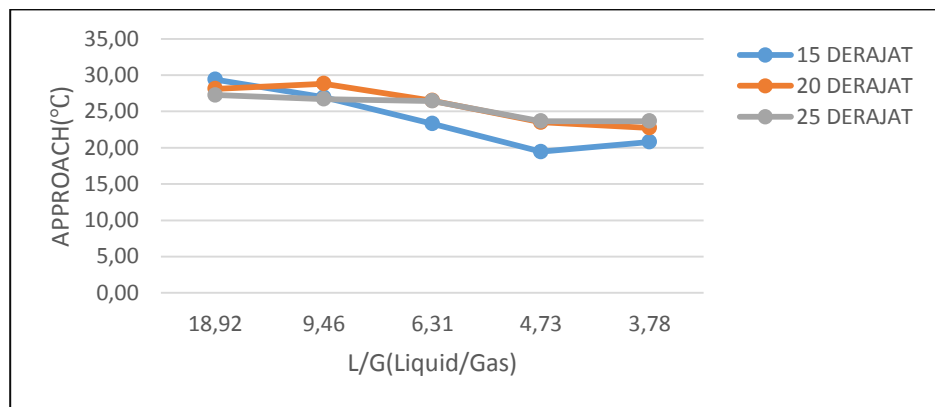
1. Grafik Pada Nilai *Temperture Range* *Fill* Segitiga 10 x 9



Gambar Grafik 4.13 *Temperture Range Fill* Segitiga 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.13 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,60⁰C dikecepatan 10Hz, 10,85⁰C dikecepatan 20Hz, 14,57⁰C dikecepatan 30Hz, 14,06⁰C dikecepatan 40Hz, 11,63⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 8,64⁰C dikecepatan 10Hz, 9,16⁰C dikecepatan 20Hz, 10,05⁰C dikecepatan 30Hz, 13,20⁰C dikecepatan 40Hz, 11,88⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 7,72⁰C dikecepatan 10Hz, 9,46⁰C dikecepatan 20Hz, 10,30⁰C dikecepatan 30Hz, 11,32⁰C dikecepatan 40Hz, 12,79⁰C dikecepatan 50Hz.

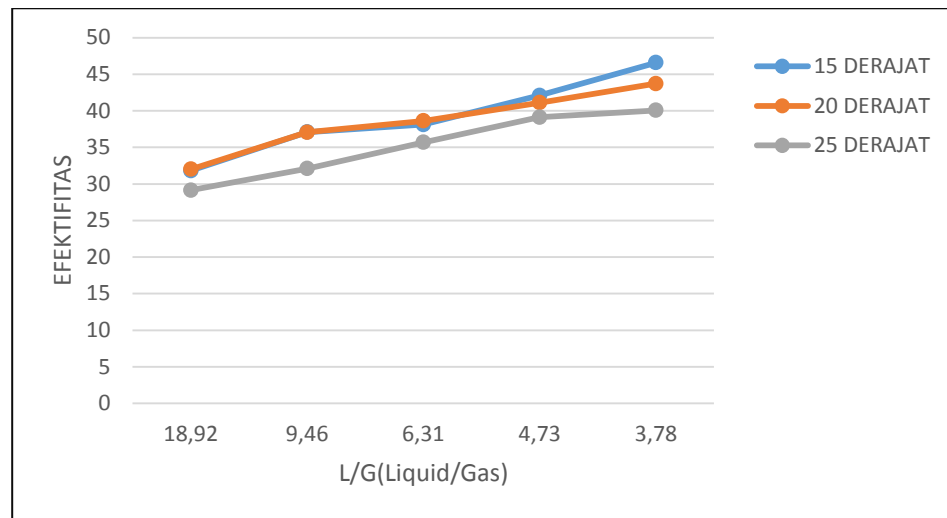
2. Grafik Pada Nilai *Temperture Approach Fill* Segitiga 10 x 9



Gambar Grafik 4.14 *Temperture Approach Fill* Segitiga 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.14 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06⁰C dikecepatan 10Hz, 23,45⁰C dikecepatan 20Hz, 19,82⁰C dikecepatan 30Hz, 24,14⁰C dikecepatan 40Hz, 19,15⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,01⁰C dikecepatan 10Hz, 25,15⁰C dikecepatan 20Hz, 25,52⁰C dikecepatan 30Hz, 22,76⁰C dikecepatan 40Hz, 21,95⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan hasil 26,89⁰C dikecepatan 10Hz, 25,66⁰C dikecepatan 20Hz, 23,04⁰C dikecepatan 30Hz, 21,84⁰C dikecepatan 40Hz, 21,52⁰C dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Segitiga 10 x 9

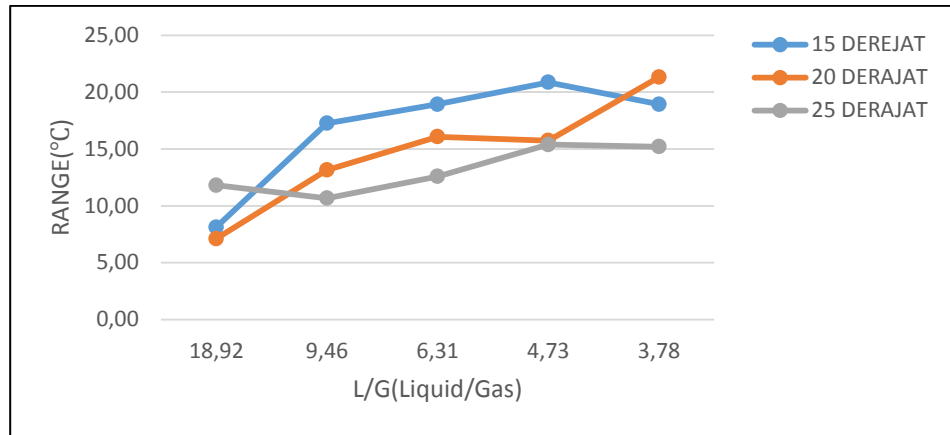


Gambar Grafik 4.15 Efektifitas *Fill* Segitiga 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.15 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,42 dikecepatan 20Hz, 57,34 dikecepatan 30Hz, 55,33 dikecepatan 40Hz, 44,74 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 20Hz, 41,69 dikecepatan 30Hz, 53,22 dikecepatan 40Hz, 46,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 29,91 dikecepatan 10Hz, 37,23 dikecepatan 20Hz, 40,55 dikecepatan 30Hz, 45,08 dikecepatan 40Hz, 50,16 dikecepatan 50Hz.

4.3.6 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Segitiga

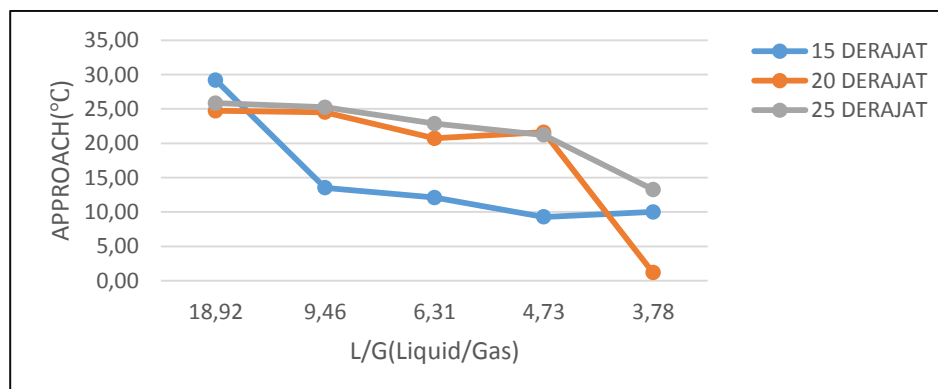
1. Grafik Pada Nilai *Temperature Range* *Fill* Segitiga 11 x 10



Gambar Grafik 4.16 *Temperature Range Fill* Segitiga 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.16 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,60⁰C dikecepatan 10Hz, 10,85⁰C dikecepatan 20Hz, 14,57⁰C dikecepatan 30Hz, 14,06⁰C dikecepatan 40Hz, 11,63⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 8,64⁰C dikecepatan 10Hz, 9,16⁰C dikecepatan 20Hz, 10,05⁰C dikecepatan 30Hz, 13,20⁰C dikecepatan 40Hz, 11,88⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 7,72⁰C dikecepatan 10Hz, 9,46⁰C dikecepatan 20Hz, 10,30⁰C dikecepatan 30Hz, 11,32⁰C dikecepatan 40Hz, 12,79⁰C dikecepatan 50Hz.

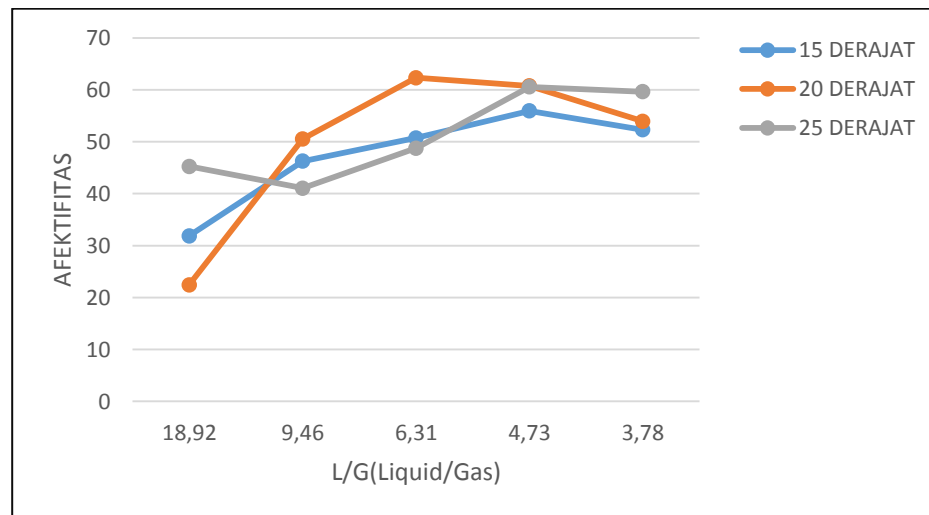
2. Grafik Pada Nilai *Temperature Approach Fill* Segitiga 11 x 10



Gambar Grafik 4.17 *Temperature Approach Fill* Segitiga 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.17 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06⁰C dikecepatan 10 Hz, 23,45⁰C dikecepatan 20Hz, 19,82⁰C dikecepatan 30Hz, 24,14⁰C dikecepatan 40Hz, 19,15⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,01⁰C dikecepatan 10Hz, 25,15⁰C dikecepatan 20Hz, 25,52⁰C dikecepatan 30 Hz, 22,76⁰C dikecepatan 40 Hz, 21,95⁰C dikecepatan 50 Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 26,89⁰C dikecepatan 10Hz, 25,66⁰C dikecepatan 20Hz, 23,04⁰C dikecepatan 30Hz, 21,84⁰C dikecepatan 40Hz, 21,52⁰C dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Segitiga 11 x 10



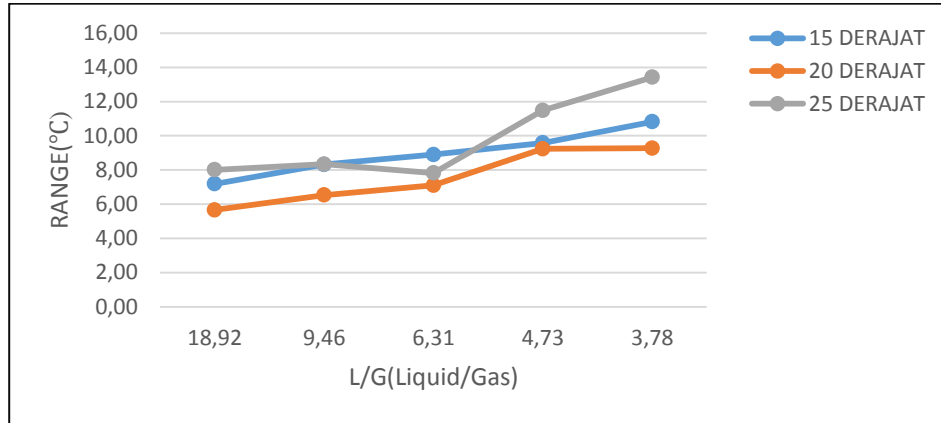
Gambar Grafik 4.18 Efektifitas *Fill* Segitiga 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.18 di tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,42 dikecepatan 20Hz, 57,34 dikecepatan 30Hz, 55,33 dikecepatan 40Hz, 44,74 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 20Hz, 41,69 dikecepatan 30Hz, 53,22 dikecepatan 40Hz, 46,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 29,91 dikecepatan

10Hz, 37,2 dikecepatan 20Hz , 40,55 dikecepatan 30Hz, 45,08 dikecepatan 40Hz, 50,16 dikecepatan 50Hz.

4.3.7 Hasil Pengujian Fill Berlubang Kotak

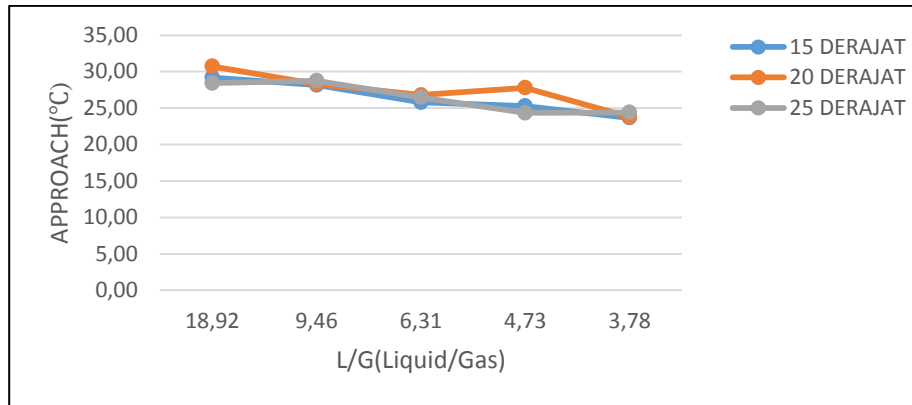
1. Grafik Pada Nilai *Temperature Range Fill* Kotak 9 x 8



Gambar grafik 4.19 *Temperature Range* fill kotak 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.19 tiap sudut kemiringan posisi fill yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,60⁰C dikecepatan 10Hz, 10,85⁰C dikecepatan 20Hz, 14,57⁰C dikecepatan 30Hz, 14,06 dikecepatan 40Hz ⁰C, 11,63⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 8,64⁰C dikecepatan 10Hz, 9,16⁰C dikecepatan 20Hz, 10,05⁰C dikecepatan 30Hz, 13,20⁰C dikecepatan 40Hz, 11,88⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 7,72⁰C dikecepatan 10Hz, 9,46⁰C dikecepatan 20Hz, 10,30⁰C dikecepatan 30Hz, 11,32⁰C dikecepatan 40Hz, 12,79⁰C dikecepatan 50Hz.

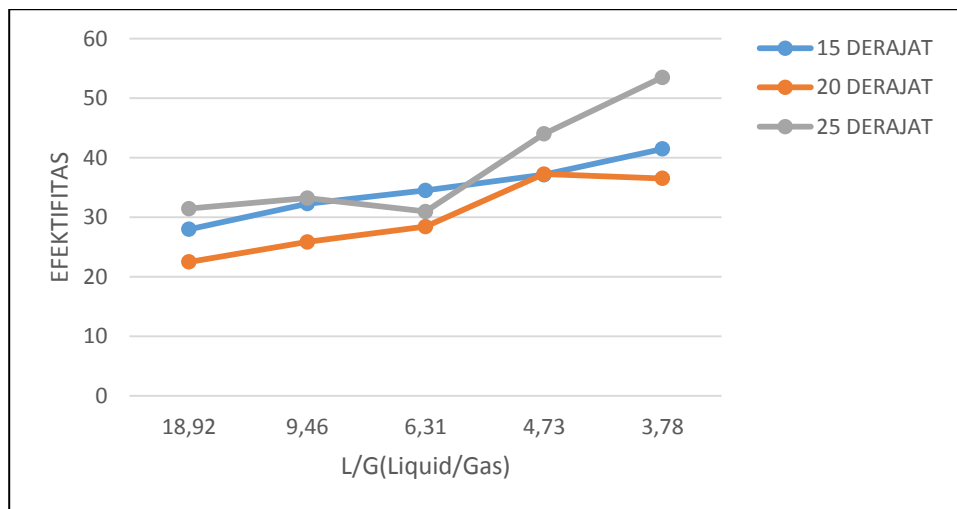
2. Grafik Pada Nilai *Temperature Approach* Fill Kotak 9 x 8



Gambar Grafik 4.20 *Temperature Approach Fill* Kotak 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.20 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06⁰C dikecepatan 10Hz, 23,45⁰C dikecepatan 20Hz, 19,82⁰C dikecepatan 30Hz, 24,14⁰C dikecepatan 40Hz, 19,15⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,01⁰C dikecepatan 10Hz, 25,15⁰C dikecepatan 20Hz, 25,52⁰C dikecepatan 30Hz, 22,76⁰C dikecepatan 40Hz, 21,95⁰C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 26,89⁰C dikecepatan 10Hz, 25,66⁰C dikecepatan 20Hz, 23,04⁰C dikecepatan 30Hz, 21,84⁰C dikecepatan 40Hz, 21,52⁰C dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Kotak 9 x 8

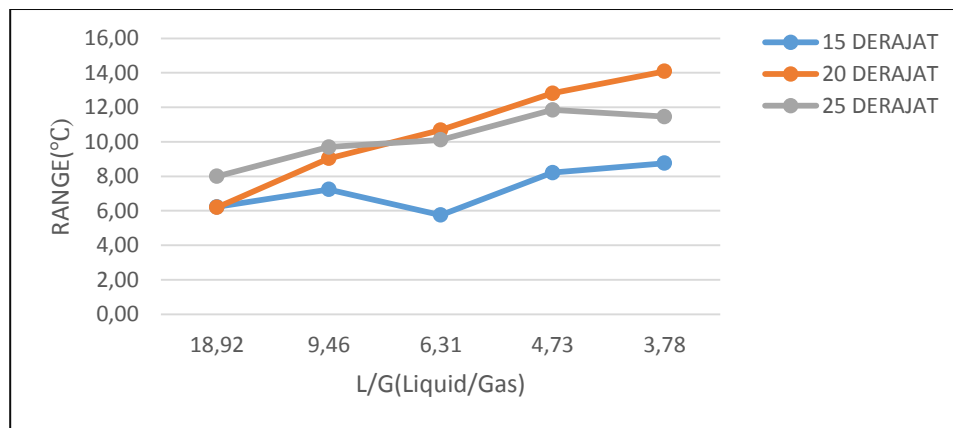


Gambar Grafik 4.21 Efektifitas *Fill* Kotak 9 x 8

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.21 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,42 dikecepatan 10Hz, 57,34 dikecepatan 10Hz, 55,33 dikecepatan 10Hz, 44,74 dikecepatan 10Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 10Hz, 41,69 dikecepatan 10Hz, 53,22 dikecepatan 10Hz, 46,60 dikecepatan 10Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan asil 29,91 dikecepatan 10Hz, 37,23 dikecepatan 10Hz, 40,55 dikecepatan 10Hz, 45,08 dikecepatan 10Hz, 50,16 dikecepatan 10Hz.

4.3.8 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Kotak

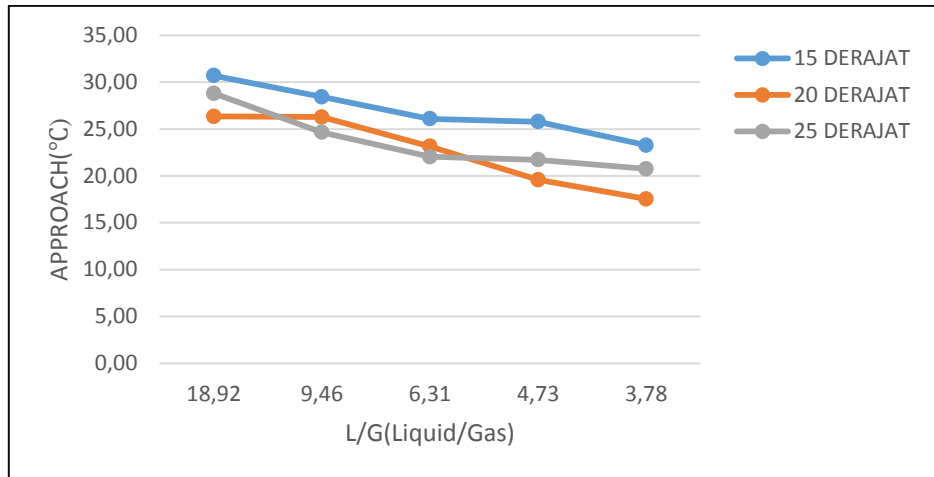
1. Grafik Pada Nilai *Temperature Range Fill* Kotak 10 x 9



Gambar Grafik 4.22 *Temperature Range Fill* Kotak 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.22 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 11,60°C dikecepatan 10Hz, 10,85°C dikecepatan 20Hz, 14,57°C dikecepatan 30Hz, 14,06°C dikecepatan 40Hz, 11,63°C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 8,64°C dikecepatan 10Hz, 9,16°C dikecepatan 20Hz, 10,05°C dikecepatan 30Hz, 13,20°C dikecepatan 40Hz, 11,88°C dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 7,72°C dikecepatan 10Hz, 9,46°C dikecepatan 20Hz, 10,30°C dikecepatan 30Hz, 11,32°C dikecepatan 40Hz, 12,79°C dikecepatan 50Hz.

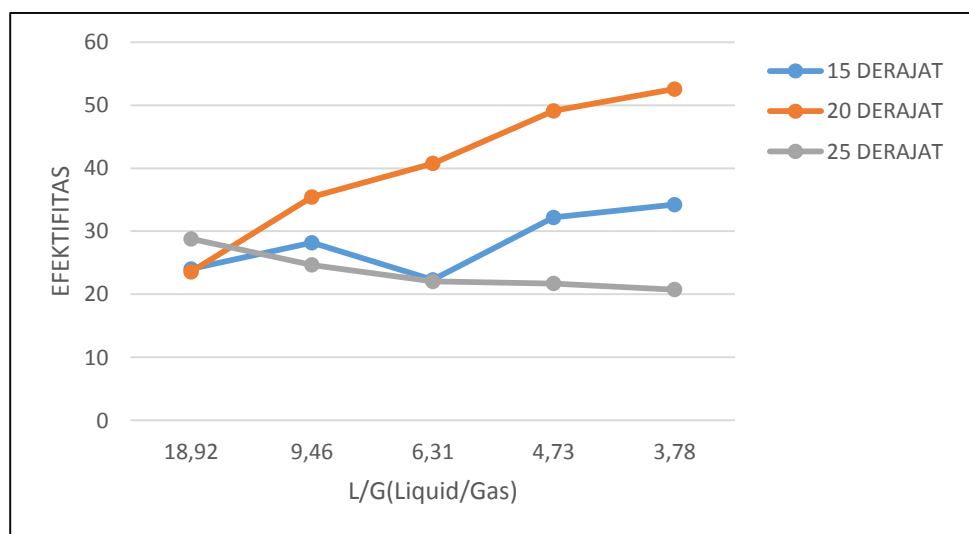
2. Grafik Pada Nilai *Temperature Approach Fill* Kotak 10 x 9



Gambar Grafik 4.23 *Temperature Approach Fill* Kotak 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.23 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06^oC dikecepatan 10Hz, 23,45^oC dikecepatan 20Hz, 19,82^oC dikecepatan 30Hz, 24,14^oC dikecepatan 40Hz, 19,15^oC dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,01^oC dikecepatan 10Hz, 25,15^oC dikecepatan 20Hz, 25,52^oC dikecepatan 30Hz, 22,76^oC dikecepatan 40Hz, 21,95^oC dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 26,89^oC dikecepatan 10Hz, 25,66^oC dikecepatan 20Hz, 23,04^oC dikecepatan 30Hz, 21,84^oC dikecepatan 40Hz, 21,52^oC dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Kotak 10 x 9

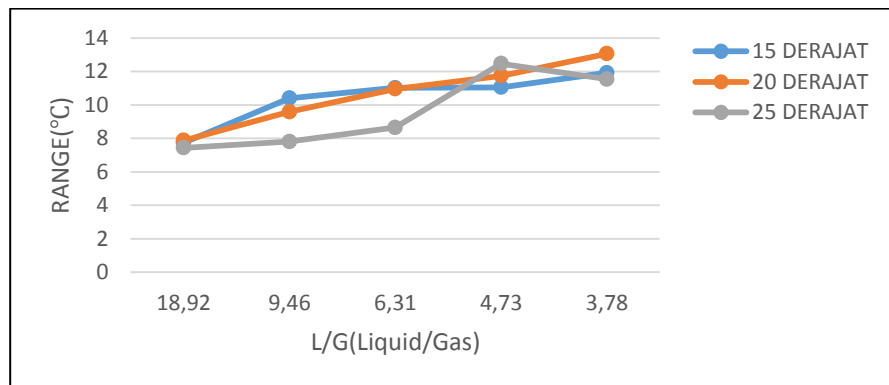


Gambar Grafik 4.24 Efektifitas *Fill* Kotak 10 x 9

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.24 ditiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,42 dikecepatan 20Hz, 57,34 dikecepatan 30Hz, 55,33 dikecepatan 40Hz, 44,74 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 20Hz, 41,69 dikecepatan 30Hz, 53,22 dikecepatan 40Hz, 46,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 29,91 dikecepatan 10Hz, 37,23 dikecepatan 20Hz, 40,55 dikecepatan 30Hz, 45,08 dikecepatan 40Hz, 50,16 dikecepatan 50Hz.

4.3.9 Hasil Pengujian *Fill* Berlubang Kotak

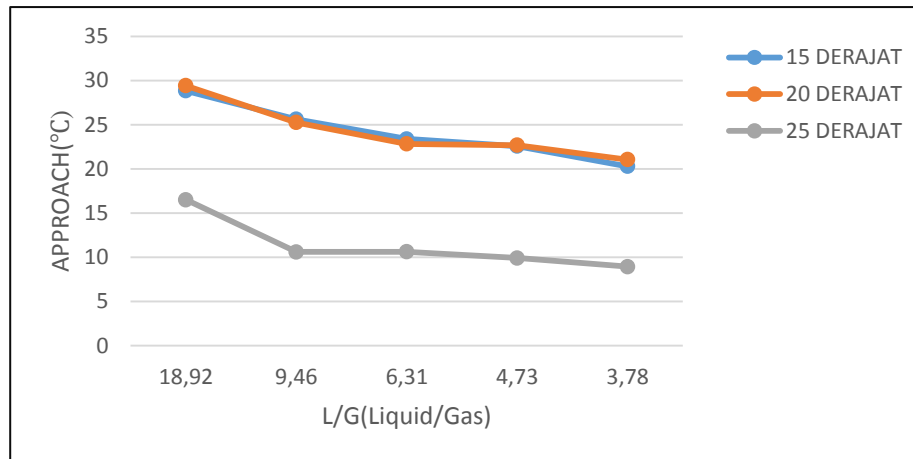
1. Grafik Pada Nilai *Temperature Range Fill* Kotak 11 x 10



Gambar Grafik 4.25 *Temperature Range Fill* Kotak 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Range* dari gambar grafik 4.25 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° di dapatkan data. 11,60°C dikecepatan 10Hz, 10,85°C dikecepatan 10Hz, 14,57°C dikecepatan 10Hz, 14,06°C dikecepatan 10Hz, 11,63°C dikecepatan 10Hz. Pada sudut kemiringan 20° di dapatkan data. 8,64°C dikecepatan 10Hz, 9,16°C dikecepatan 10Hz, 10,05°C dikecepatan 10Hz, 13,20°C dikecepatan 10Hz, 11,88°C dikecepatan 10Hz. Pada sudut kemiringan 25° di dapatkan data. 7,72°C dikecepatan 10Hz, 9,46 °C dikecepatan 10Hz, 10,30°C dikecepatan 10Hz, 11,32°C dikecepatan 10Hz, 12,79°C dikecepatan 10Hz.

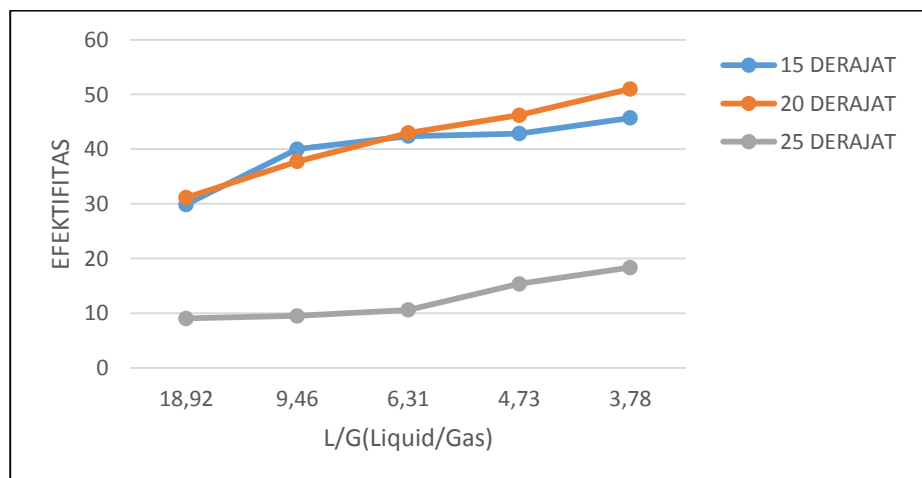
2. Grafik Pada Nilai *Temperature Approach Fill* Kotak 11 x 10



Gambar Grafik 4.26 *Temperature Approach Fill* Kotak 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan *Approach* dari gambar grafik 4.26 tiap sudut kemiringan posisi *fill* yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° didapatkan hasil 26,06^oC dikecepatan 10Hz, 23,45^oC dikecepatan 20Hz, 19,82^oC dikecepatan 30Hz, 24,14^oC dikecepatan 40Hz, 19,15^oC dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 27,01^oC dikecepatan 10Hz, 25,15^oC dikecepatan 20Hz, 25,52^oC dikecepatan 30Hz, 22,76^oC dikecepatan 40Hz, 21,95^oC dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 26,89^oC dikecepatan 10Hz, 25,66^oC dikecepatan 20Hz, 23,04^oC dikecepatan 30Hz, 21,84^oC dikecepatan 40Hz, 21,52^oC dikecepatan 50Hz.

3. Grafik Pada Nilai Efektifitas *Fill* Kotak 11 x 10



Gambar Grafik 4.27 Efektifitas *Fill* Kotak 11 x 10

Pada hasil percobaan tersebut di dapatkan data hasil percobaan Efektifitas dari gambar grafik 4.27ditiap sudut kemiringan posisi fill yang di uji. Pada sudut kemiringan 15° diperoleh hasil 44,09 dikecepatan 10Hz, 41,4 dikecepatan 20Hz, 57,34 dikecepatan 30Hz, 55,33 dikecepatan 40Hz, 44,74 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 20° didapatkan hasil 33,48 dikecepatan 10Hz, 36,80 dikecepatan 20Hz, 41,69 dikecepatan 30Hz, 53,22 dikecepatan 40Hz, 46,60 dikecepatan 50Hz. Pada sudut kemiringan 25° didapatkan hasil 29,91 dikecepatan 10Hz, 37,23 dikecepatan 20Hz, 40,55 dikecepatan 30Hz, 45,08 dikecepatan 40Hz, 50,16 dikecepatan 50Hz.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian analisa yang telah dibahas, diperoleh kesimpulan mengenai pengujian *fill* bulat, *fill* segitiga, dan *fill* kotak pada colling tower sebagai berikut :

1. Pada *fill* bulat diperoleh *range* yang maksimum dari sudut 15° yang nilainya 12,16 °C, dan nilai *approach* maksimum didapat dari sudut 20° yang nilainya 24,14°C, efektifitas maksimum yang diperoleh dari sudut 15° adalah 58,44.
2. Pada *fill* segitiga nilai *range* maksimum diperoleh dari sudut 20° yang nilainya 13,06°C, lalu nilai *approach* maksimum didapat dari sudut 25° nilainya 23,15°C, efektifitas maksimum yang didapat dari sudut 20° adalah 56,67.
3. Pada *fill* kotak *range* maksimum didapat pada sudut 25° nilainya 9,87°C, dan nilai *approach* maksimum disudut 15° nilainya 25,8°C. Efektifitas maksimum yang diperoleh dari sudut 20° ialah 46,92.
4. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan nilai efektifitas yang baik terjadi di *fill* bulat pada sudut 15° yang hasilnya adalah 58,44.

5.2 Saran

Berdasarkan pengalaman yang diperoleh dari penelitian tentang pengujian karakteristik unjuk kerja *colling tower*, direkomendasikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pada saat pengambilan data terlebih dahulu lakukan kalibrasi sensor, agar data yang diambil mendapatkan hasil yang baik.
2. Pada saat pengambilan lakukan pengecekan suhu air didalam bak minimal suhu harus mencapai 60°C baru data bias diambil.
3. Untuk studi selanjutnya diharapkan untuk menemukan variabel baru, contoh nya lubang fill di perbanyak, dan lebih memperhatikan panel karna sensitive terjadi eror.

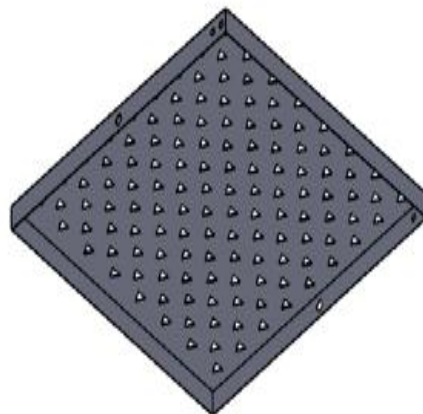
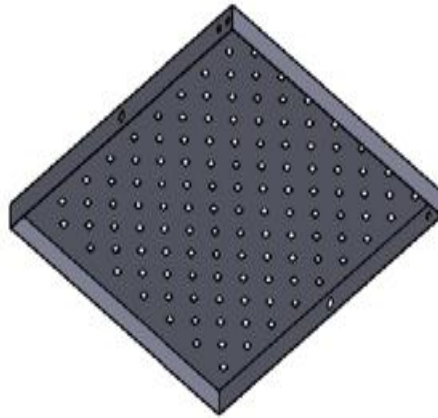
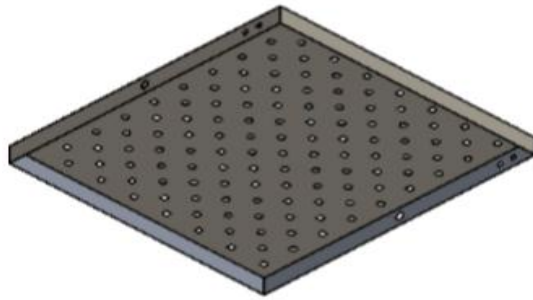
DAFTAR PUSTAKA

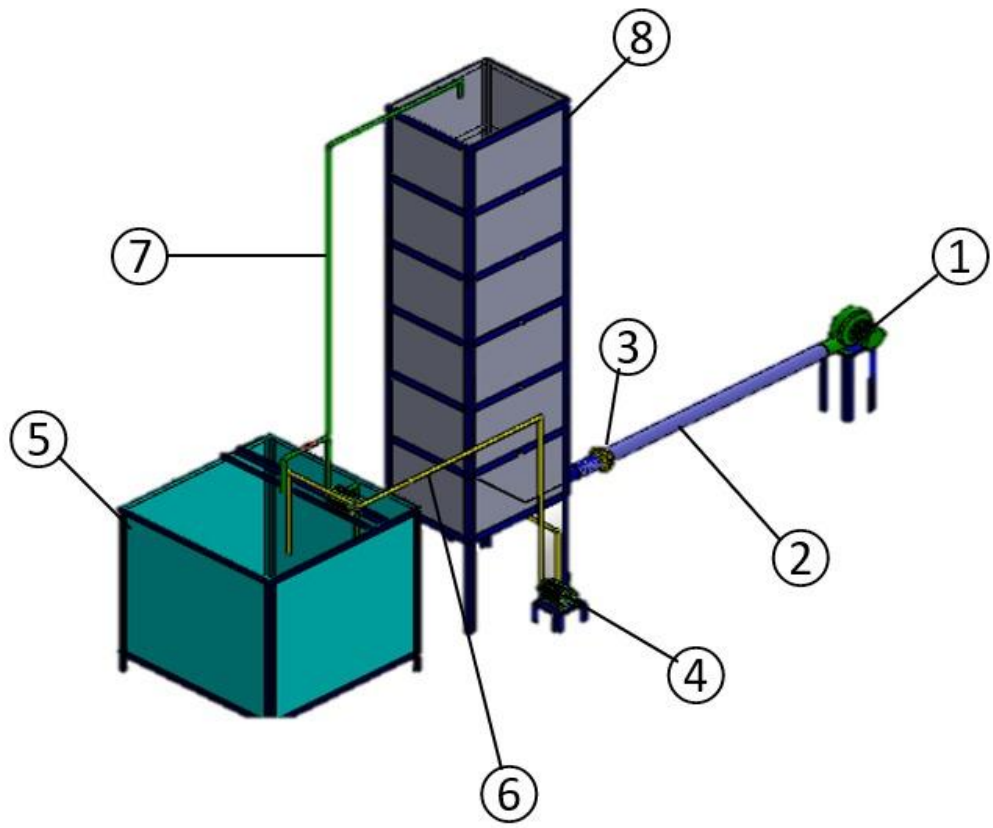
- Ayyam, K., Sari, M. P., Ma, Z., & P, W. D. (2018). Perbandingan Kerja Antar Bahan Pengisi pada Menara Cooling Tower dengan Sistem Destilasi Uap. *Jurnal Penelitian Mahasiswa Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 2(1), 19–29.
- Cuk Sholahuddin Putra, & Jamaaluddin. (2021). Rancang Bangun Sistem Balancing Level Air Cooling Tower menggunakan Sensor Ultrasonik dan Motorized Valve Berbasis Arduino Uno. *J-Eltrik*, 1(2), 35. <https://doi.org/10.30649/j-eltrik.v1i2.35>
- Dang, Z., Zhang, Z., Gao, M., & He, S. (2019). Numerical simulation of thermal performance for super large-scale wet cooling tower equipped with an axial fan. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 135, 220–234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.111>
- El Marazgioui, S., & El Fadar, A. (2022). Impact of cooling tower technology on performance and cost-effectiveness of CSP plants. *Energy Conversion and Management*, 258, 115448. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115448>
- Irawan, T. (2022). Kajian Analisis dan Kontruksi Menara Pendingin - Review. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 6(1), 53. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v6i1.1003>

- Midiani, L. P. I., Temaja, I. W., Adnyana, I. P. M., Dwiana, I. K., & Yoga, I. M. P. (2021). Analisa kinerja cooling tower tipe counter flow induced draft. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, 2(2), 72–77. <https://doi.org/10.31940/jametech.v2i2.2712>
- Midiani, L. P. I., Temaja, I. W., Adnyana, I. P. M., Dwiana, I. K., & Yoga, I. M. P. (2021). Analisa kinerja cooling tower tipe counter flow induced draft. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology*, 2(2), 72–77. <https://doi.org/10.31940/jametech.v2i2.2712>
- Pontes, R. F. F., Yamauchi, W. M., & Silva, E. K. G. (2019). Analysis of the effect of seasonal climate changes on cooling tower efficiency, and strategies for reducing cooling tower power consumption. *Applied Thermal Engineering*, 161, 114148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114148>
- Zargar, A., Kodkani, A., Peris, A., Clare, E., Cook, J., Karupothula, P., Vickers, B., Flynn, M. R., & Secanell, M. (2022). Numerical analysis of a counter-flow wet cooling tower and its plume. *International Journal of Thermofluids*, 14, 100139. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijft.2022.100139>
- Khairul Umurani, Rahmatullah, Ahmad Marabdi Siregar, Arya Rudi Nasution, R. F. P. (2023). Perpindahan Panas dan Penurunan Tekanan Pada Plat Rata Dengan Media Berpori (Porous). *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 6(2), 89–98.
- 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>
- Pratama, F. P., Setyawan, D. L., & Ramadhan, M. E. (2021). Analisis Unjuk Kerja Cooling Tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi

- Asbes. *Rotor*, 14(1), 35. <https://doi.org/10.19184/rotor.v14i1.24224>
- Melkias, A. (2021). Analisa Performa Pada Cooling Tower Jenis Mechanical DraftCrossflow. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1),24–28.<https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2321>
- Sastrawan. (2020). Analisa perpindahan panas cooling tower (induced draft) pltu 1 pulang pisau (2 x 60 mw). *Jtam Rotary*, 2(2), 171. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v2i2.2413
- Sastrawan, I. K. G., & Subagyo, R. (2020). Analisa perpindahan panas cooling tower (induced draft) pltu 1 pulang pisau (2 x 60 mw). *Jtam Rotary*, 2(2), 171. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v2i2.24

LAMPIRAN





LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Karakteristik Unjuk Kerja *Wet Colling Tower* Aliran Paksa

Nama : Afrizal Saputra Damanik
NPM : 1807230073

Dosen Pembimbing : Khairul Umurani, S.T., M.T

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Senin 10/10/2022	- Pembartian spesifikasi Tugas Akhir	u
2.	Rabu 13/10/2022	- Perbaiki pendahuluan	u
3.	Kamis 20/10/2022	- Perbaiki Tujuan	u
4.	Senin 24/10/2022	- Perbaiki Tinjauan Pustaka	u
5.	Rabu 26/10/2022	- Perbaiki pembahasan tentang colling tower	u
6.	Kamis 27/10/2022	- Perbaiki metode	u
7.	Kamis 03/11/2022	- ACC, seminar proposal	u
8.	Senin 10/07/2023	- Perbaiki hasil dan pembahasan	u
9.	Selasa 18/07/2023	- Perbaiki kesimpulan	u
10	Selasa 25/07/2023	- Acc Seminar hasil	u



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila membuat surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<http://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [f umsumedan](#) [u umsumedan](#) [u umsumedan](#) [u umsumedan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 1290/II.3AU/UMSU-07/F/2022

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 05 September 2022 dengan ini Menetapkan :

Nama : AFRIZAL SAPUTRA DAMANIK
Npm : 1807230073
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VIII (DELAPAN)
Judul Tugas Akhir : KARAKTERISTIK UNJUK KERJA WET COOLING TOWER ALIRAN PAKSA.

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, 08 Syafar 1444 H
05 September 2022 M



Munawar Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202



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

Nama : Afrizal Saputra Damanik
NPM : 1807230073
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja wet cooling tower aliran pakasa.

Dosen Pembanding – I : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pembanding – II : Sudirman lubis ST.MT
Dosen Pembimbing – : 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 :
- *tidak boleh data pada*
- *berkasnya lengkap dan benar*
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan, 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



Sudirman Lubis ST.MT

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

Nama : Afrizal Saputra Damanik
NPM : 1807230073
Judul Tugas Akhir : Karakteristik Unjuk Kerja wet cooling tower aliran pakasa.

Dosen Pemanding – I : Chandra A Siregar ST.MT
Dosen Pemanding – II : Sudirman lubis ST.MT
Dosen Pembimbing – : 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 :
tidak baik perlu achiur
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
.....
.....
.....

Medan, 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pemanding- 1



Chandra A Siregar ST.MT

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2022 – 2023**

Peserta seminar

Nama : Afrizal Saputra Damanik

NPM : 1807230073

Judul Tugas Akhir : Karakteristik unjuk kerja wet cooling tower aliran paksa .

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	: Khairul Umurani ST.MT	 <i>Khairul Umurani</i>
Pemanding – I	: Chandra A Siregar ST.MT	 <i>Chandra A Siregar</i>
Pemanding II	: Sudirman Lubis ST.MT	 <i>Sudirman Lubis</i>
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1901230001	RAFID ALFARIZI	<i>Rafid Alfarizi</i>
2	1907230031	ADITIYA WARDHANA	<i>Aditiya Wardhana</i>
3	1907230046	ANANDA FAHRIZA	<i>Ananda Fahriza</i>
4	1907230032	AGUNG SETIAWAN	<i>Agung Setiawan</i>
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 20 Muharram 1445 H
7 Agustus 2023 M

Ketua Prodi. T.Mesin

Chandra A Siregar

Chandra A Siregar, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: Afrizal Saputra Damanik
Jenis Kelamin	: Laki – Laki
Tempat/Tanggal Lahir	: Rohil Sintang, 24 April 2000
Alamat	: Jl. Parbutaran, Kec. Bosar Maligas, Kab. Simalungun, Kota Medan, Sumatera Utara
Agama	: Islam
E-mail	: saputraafrizal118@gmail.com
No. Handphone	: 082274397086

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 095217	Tahun 2006 – 2012
2. SMP Negeri 2 Bosar Maligas	Tahun 2012 – 2015
3. SMA Negeri 1 Sei Suka	Tahun 2015 – 2018
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2018 – 2023