



**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*
COUNTER FLOW MENGGUNAKAN BAHAN PENGISI KERAMIK**

SKRIPSI

Oleh

Anggi

NIM 171910101003

PROGRAM STUDI STRATA I TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2021



**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*
COUNTER FLOW MENGGUNAKAN BAHAN PENGISI KERAMIK**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Strata I Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Anggi

NIM 171910101003

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2021**

PERSEMBAHAN

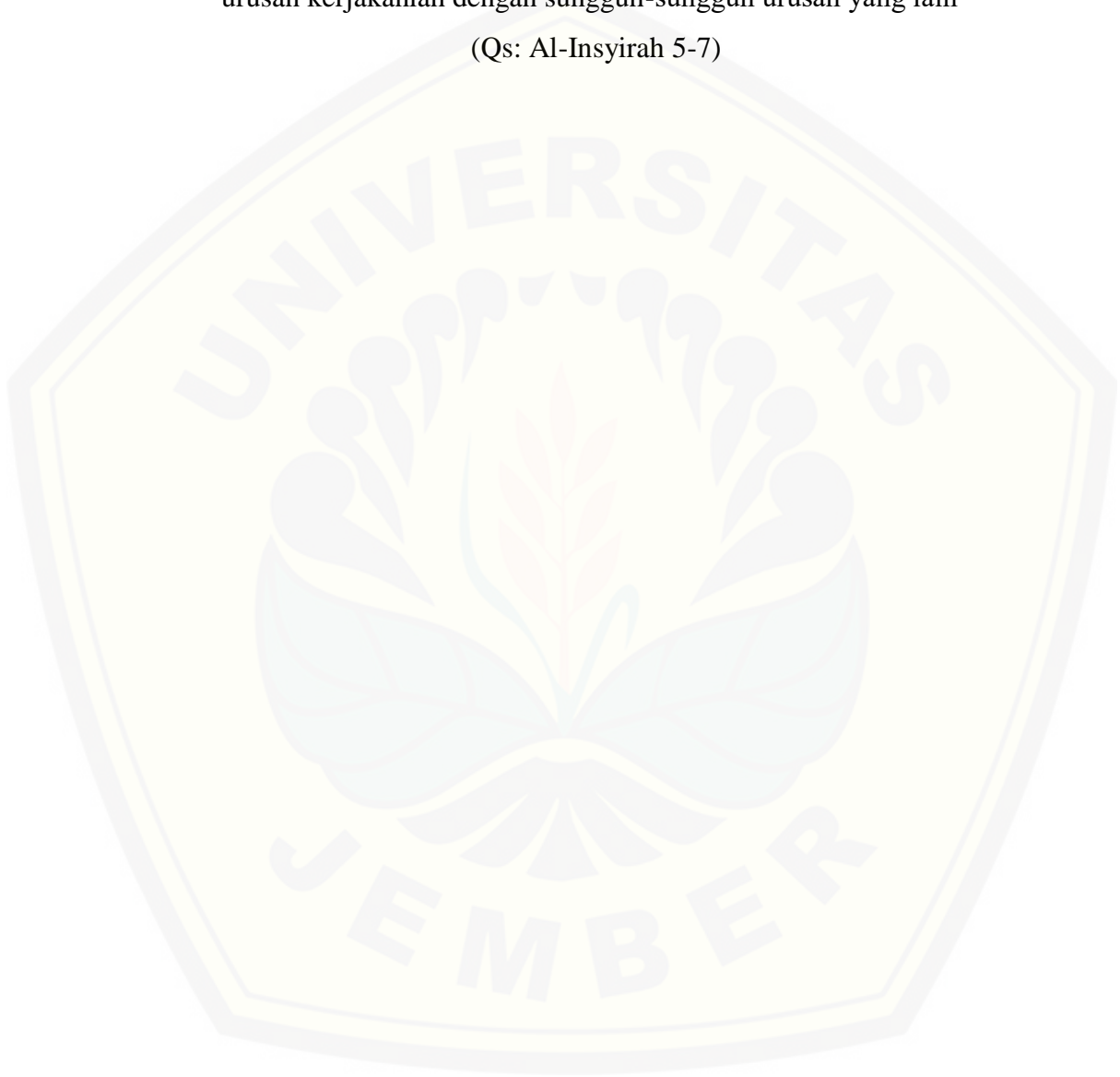
Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa syukur kehadirat Allah SWT dan shalawat selalu tercurahkan kepada nabi Muhammad SAW. Dengan rasa terimakasih saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Keluarga, Ayahanda Siswandy, ayahanda Muslim, ibunda Khodijah, ibunda Anissa, kakek Tukiyo dan saudara-saudari atas semua dukungan, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi, bimbingan, serta kesabarannya mendampingi saya selama ini;
2. Seluruh staf pengajar dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang diberikan bermanfaat. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.sc., IPM. selaku dosen pembimbing utama, bapak Yuni Hermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota, bapak Dr.Ir. Agus Triono, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, ibu Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kesempatan, arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyelesaian skripsi;
3. Seluruh guru-guru dan juga staf pengajar sejak bangku sekolah dasar hingga sekolah menengah atas;
4. Yulia Ayu Setyawati beserta Abah Hadi Agus Salim sekeluarga, yang telah mendukung saya selama proses penyelesaian skripsi;
5. Teman-teman dalam penelitian *Cooling Tower*. Fahriza, Alvin Ulil, Gayuh, Deva yang telah memberikan semangat, masukan dan bantuan selama proses penyelesaian skripsi;
6. Teman-teman seperjuangan. Abim Syaifullah, Farhan Fahriansyah, Nauval, Alman, Jan Fernando, Fikri, Fahruzi, Arif Eka, Amar, Rafiq;
7. Keluarga besar Teknik Mesin M19 Unej angkatan 2017 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta dukungan;
8. Almamater tercinta Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
9. Seluruh pihak yang telah mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

MOTTO

“Sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka ketika telah selesai dari sesuatu urusan kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain”

(Qs: Al-Insyirah 5-7)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anggi

NIM : 171910101003

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Menggunakan Bahan Pengisi Keramik” adalah benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini sesuai dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta mendapatkan sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 22 Juli 2021

Yang menyatakan,

Anggi

NIM 171910101003

SKRIPSI

**ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT*
COUNTER FLOW MENGGUNAKAN BAHAN PENGISI KERAMIK**

Oleh:

Anggi

NIM 171910101003

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.sc., IPM.

Dosen Pembimbing Anggota : Yuni Hermawan, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Proposal berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Menggunakan Bahan Pengisi Keramik” telah disetujui pada:

Hari, tanggal : Rabu, 16 Juni 2021

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Ir. Digo Listyadi Setyawan, M.sc., IPM.

NIP 196806171995011001

Dosen Penguji I

Yuni Hermawan, S.T., M.T.

NIP 197506152002121008

Dosen Penguji II

Dr.Ir. Agus Triono, S.T., M.T.

NIP 197008072002121001

Dekan Fakultas Teknik,

Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T.

NIP 198904282019032021

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T

NIP 197008261997021001

RINGKASAN

Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Menggunakan Bahan Pengisi Keramik; Anggi, 171910101003; 2021; 112 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Total konsumsi energi di Indonesia pada tahun 2018 sekitar 114 *MTOE (Million Tonnes of Oil Equivalent)*. Total tersebut terdiri dari 40% sektor transportasi, 36% sektor industri, 16% sektor rumah tangga, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2%. Sumber energi dapat diperoleh dari produksi energi yang terdiri dari minyak bumi, gas bumi, batubara, dan energi terbarukan.

Industri energi di Indonesia sebagian besar digunakan untuk pembangkit listrik. Kapasitas pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 64,5 GW (GigaWatt). Kapasitas pembangkit listrik pada tahun 2018 sebagian besar berasal dari pembangkit listrik tenaga fosil seperti batubara (50%), gas bumi (29%), BBM (7%) dan energi terbarukan (14%). Dalam proses produksi energi banyak sekali elemen-elemen pendukung yang dibutuhkan untuk mendukung proses produksi untuk hasil produk yang maksimal dan efektif. Salah satu elemen tersebut dalam sebuah industri adalah *cooling tower*.

Cooling tower merupakan alat penukar kalor khusus dua fluida yaitu air dan udara. Air dan udara dikontakan langsung antara satu dengan lainnya untuk memindahkan panas dari air ke udara. *Cooling tower* biasanya berbentuk menara tanpa bahan pengisi (*filler*), air akan berjatuhan dari atas menara dan udara dihembuskan dari bawah menara, maka akan terjadi kontak langsung antara air panas dan udara sebagai media pendingin dengan mekanisme perpindahan kalor.

Cooling Tower digunakan sebagai alat pendingin fluida dengan udara sebagai media pendingin. Salah satu upaya menghasilkan kerja yang maksimal maka diperlukan bahan pengisi yang berfungsi untuk menghambat laju aliran fluida sehingga waktu kontak air dengan udara akan semakin lama. Semakin lama kontak air dengan udara pada *cooling tower* akan dapat menurunkan temperatur

air dengan maksimal. Salah satu material yang dapat digunakan sebagai bahan pengisi adalah keramik. Keramik memiliki sifat tahan korosi, titik leleh yang tinggi, kuat dan keras. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari jarak antar *layer* dari bahan pengisi keramik terhadap efektivitas, kapasitas pendingin, rasio air dan udara, kehilangan penguapan, dan nilai liquid/gas (L/G).

Penelitian ini menggunakan metode *experimental* dengan menggunakan bahan pengisi keramik yang divariasikan. Variasi yang ingin diketahui hasilnya yaitu variasi jarak antar *layer* 10 cm, 15 cm, dan 20 cm, suhu awal 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s, 6 m/s, 8 m/s. Data yang diperoleh meliputi suhu awal, suhu air keluar, suhu bola basah, suhu bola kering, kecepatan udara dan debit. Pengambilan data dilakukan setiap 30 detik selama 240 detik.

Penelitian hasil *range* pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C tertinggi di jarak 15 cm sebesar 39,36 °C, pada suhu 60°C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 31,42 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 18,77 °C. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70°C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 37,42 °C, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 31,60 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 19,79 °C. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 38,75 °C, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 27,88 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 sebesar 19,97 °C. Hasil penelitian *range* didapatkan bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka akan semakin tinggi nilai *range*.

Penelitian hasil *approach* pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C terendah di jarak 10 cm sebesar 8,86 °C, pada suhu 60 °C terendah di jarak 10 cm sebesar 7,58 °C, pada suhu 50 °C terendah di jarak 10 cm sebesar 5,23 °C. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70 °C terendah di jarak 20 cm sebesar 9,25 °C, pada suhu 60 °C terendah di jarak 20 cm sebesar 7,81 °C, pada suhu 50 °C terendah di jarak 10 cm sebesar 5,21 °C. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C

terendah di jarak 20 cm sebesar 7,27 °C, pada suhu 60 °C terendah di jarak 10 cm sebesar 6,12 °C, pada suhu 50 °C terendah di jarak 10 sebesar 5,03 °C. Hasil penelitian *approach* didapatkan bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka akan semakin rendah nilai *approach*.

Penelitian hasil kehilangan penguapan pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C tertinggi di jarak 15 cm sebesar 15,49 °C, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 12,37 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 7,39 °C. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 14,73 °C, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 12,44 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 7,79 °C. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 15,25 °C, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 10,97 °C, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 sebesar 7,86 °C. Hasil penelitian kehilangan penguapan didapatkan bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka akan semakin tinggi nilai kehilangan penguapan.

Penelitian hasil liquid/gas pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C yang mendekati 1 di jarak 10 cm sebesar 1,18 kJ/kg.°C, pada suhu 60 °C yang mendekati 1 di jarak 15 cm sebesar 0,087 kJ/kg.°C, pada suhu 50 °C yang mendekati 1 di jarak 15 cm sebesar 1,28 kJ/kg.°C. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70 °C yang mendekati 1 di jarak 20 cm sebesar 1,03 kJ/kg.°C, pada suhu 60 °C yang mendekati 1 di jarak 20 cm sebesar 0,85 kJ/kg.°C, pada suhu 50 °C yang mendekati 1 di jarak 15 cm sebesar 1,29 kJ/kg.°C. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C yang mendekati 1 di jarak 10 cm sebesar 1,28 kJ/kg.°C, pada suhu 60 °C yang mendekati 1 di jarak 10 cm sebesar 1,39 kJ/kg.°C, pada suhu 50 °C yang mendekati 1 di jarak 15 sebesar 1,21 kJ/kg.°C. Hasil penelitian liquid/gas didapatkan bahwa nilai liquid/gas bervariasi pada setiap jarak antar *layer* dan sulit untuk mengetahui nilai liquid/gas yang terbaik. Akan tetapi dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka semakin mendekati 1 nilai L/G.

Penelitian hasil kapasitas pendingin pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C tertinggi di jarak 15 cm sebesar 11,67 kJ/s, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 9,32 kJ/s, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 5,57 kJ/s. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 11,10 kJ/s, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 9,37 kJ/s, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 5,87 kJ/s. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 11,49 kJ/s, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 8,27 kJ/s, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 5,92 kJ/s. Hasil penelitian kapasitas pendingin didapatkan bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka akan semakin tinggi nilai kapasitas pendingin.

Penelitian hasil rasio air dan udara pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan antar *layernya* menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka akan semakin rendah nilai rasio air dan udaranya. Rasio air dan udara tertinggi di kecepatan 4 m/s sebesar 0,015 kg/m²s.

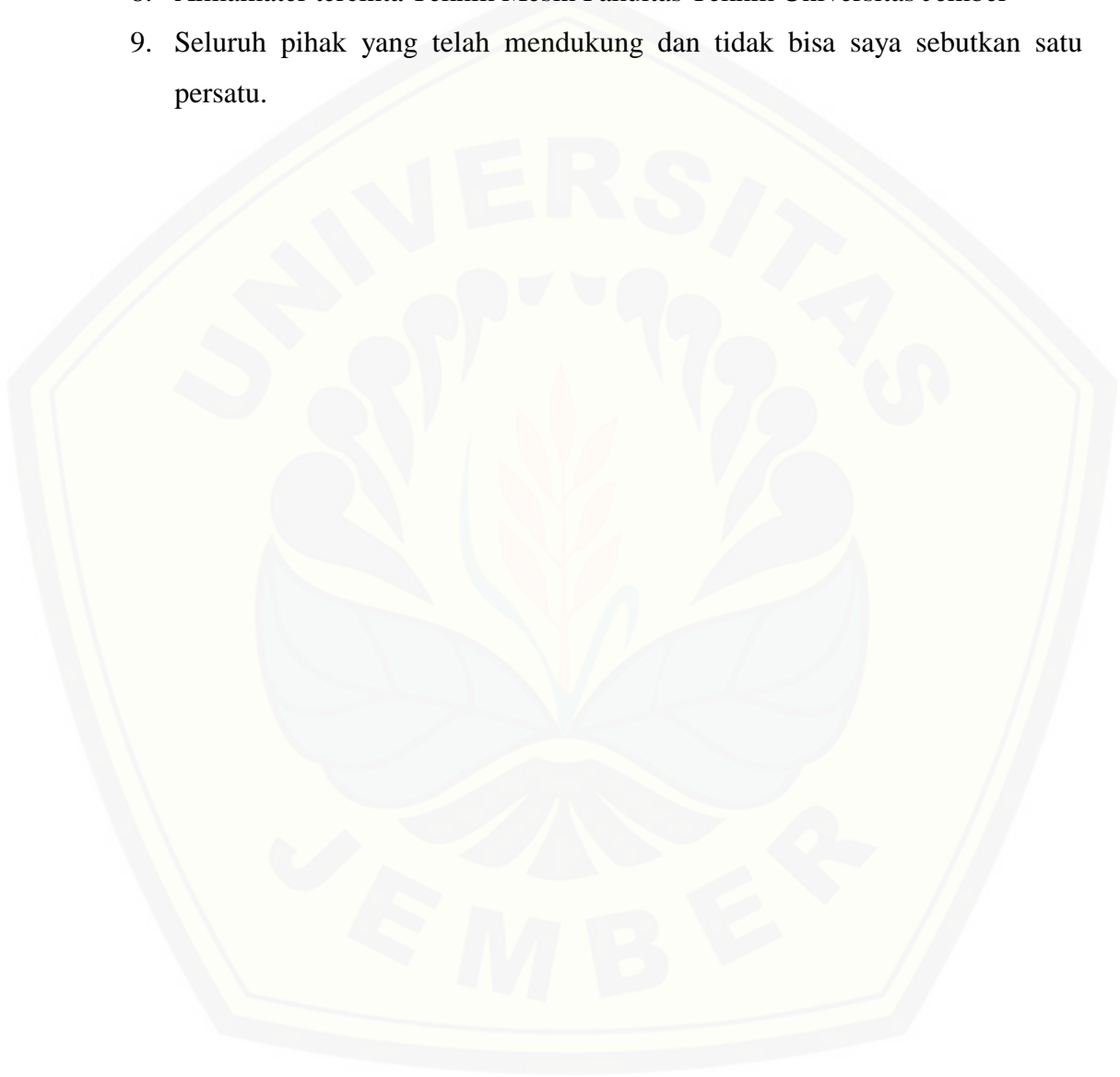
Penelitian hasil efektivitas pada *cooling tower* dengan bahan pengisi keramik yang divariasikan jarak antar *layernya* dengan kecepatan 4 m/s pada suhu 70°C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 79,39%, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 80,57%, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 78,23%. Variasi kecepatan 6 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 20 cm sebesar 79,45%, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 79,17%, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 79%. Variasi kecepatan 8 m/s pada suhu 70 °C tertinggi di jarak 20 cm sebesar 83,48%, pada suhu 60 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 81,99%, pada suhu 50 °C tertinggi di jarak 10 cm sebesar 79,88%. Hasil penelitian efektivitas didapatkan bahwa semakin rendah jarak antar *layer* maka akan semakin tinggi nilai efektivitas.

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah Swt atas nikmat yang selalu diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Menggunakan Bahan Pengisi Keramik”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai gelar Sarjana Teknik. Ada salah satu hal yang penulis hindari yaitu mengakui sebuah karya sebagai hasil diri penulis seorang diri. Dengan semangat ini, secara jujur harus penulis akui bahwa tak mungkin skripsi ini hadir tanpa bantuan orang lain, baik langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Keluarga, Ayahanda Siswandy, ayahanda Muslim, ibunda Khodijah, ibunda Anissa, kakek Tukiyo dan saudara-saudari atas semua dukungan, perhatian, doa, pengorbanan, semangat, motivasi, bimbingan, serta kesabarannya mendampingi saya selama ini;
2. Seluruh staf pengajar dosen Teknik Mesin Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang diberikan bermanfaat. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.sc. selaku dosen pembimbing utama, bapak Yuni Hermawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota, bapak Dr.Ir. Agus Triono, S.T., M.T. selaku dosen penguji utama, ibu Ir. Intan Hardiatama, S.T., M.T. selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kesempatan, arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penyelesaian skripsi;
3. Seluruh guru-guru dan juga staf pengajar sejak bangku sekolah dasar hingga sekolah menengah atas;
4. Yulia Ayu Setyawati beserta Abah Hadi Agus Salim sekeluarga, yang telah mendukung saya selama proses penyelesaian skripsi;
5. Teman-teman dalam penelitian *Cooling Tower*. Fahriza, Alvin Ulil, Gayuh, Deva yang telah memberikan semangat, masukan dan bantuan selama proses penyelesaian skripsi;

6. Teman-teman seperjuangan. Abim Syaifullah, Farhan Fahriansyah, Nauval, Alman, Jan Fernando, Fikri, Fahruzi, Arif Eka, Amar, Rafiq;
7. Keluarga besar Teknik Mesin M19 Unej angkatan 2017 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta dukungan;
8. Almamater tercinta Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember
9. Seluruh pihak yang telah mendukung dan tidak bisa saya sebutkan satu persatu.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengertian <i>Cooling Tower</i>.....	7
2.2 Mekanisme Perpindahan Panas <i>Cooling Tower</i>	7
2.3 Jenis-Jenis <i>Cooling Tower</i>.....	8
2.3.1 <i>Cooling Tower Natural Draft</i>	8
2.3.2 <i>Cooling Tower Mechanical Draft</i>	9
2.4 Kontruksi dan Komponen <i>Cooling Tower</i>	12
2.4.1 Kerangka Pendukung Menara (<i>Tower Supporter</i>)	12
2.4.2 Rumah <i>Cooling Tower</i> (<i>Casing</i>)	12

2.4.3 Pipa <i>Sprinkler</i>	13
2.4.4 Penampung Air (<i>Water Basin</i>).....	13
2.4.5 Lubang Udara (<i>Inlet Louver</i>).....	13
2.4.6 Bahan Pengisi (<i>Filling Material</i>).....	13
2.4.7 Saluran Udara Masuk.....	15
2.4.8 <i>Fan</i>	15
2.5 Fungsi dan Cara Kerja <i>Cooling Tower</i>.....	16
2.5.1 Fungsi <i>Cooling Tower</i>	16
2.5.2 Cara Kerja <i>Cooling Tower</i>	16
2.6 Kinerja <i>Cooling Tower</i>.....	17
2.7 Keramik.....	21
2.8 <i>Semicircular Arc</i>.....	21
2.9 Air.....	22
2.10 Analisis <i>Cooling Tower Counter Flow</i>.....	23
2.11 Pompa.....	25
2.12 Penelitian Terdahulu.....	26
2.13 Hipotesis.....	31
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	32
3.1 Metode Penelitian.....	32
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	32
3.3 Alat dan Bahan.....	33
3.4 Spesifikasi <i>Cooling Tower</i>.....	34
3.5 Prosedur Penelitian.....	35
3.5.1 Persiapan Alat Pengujian.....	35
3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian.....	35
3.5.3 Tahapan Pengambilan Data.....	35
3.5.4 Rangkaian <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i>	36
3.5.5 Skema Aliran Air pada <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i>	36

3.5.6 Variabel.....	37
3.6 Analisis Kinerja <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i>	38
3.7 Pengambilan Data	39
3.8 Diagram Alir.....	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil.....	41
4.2 Pembahasan	42
4.2.1 <i>Range</i>	42
4.2.2 <i>Approach</i>	51
4.2.3 Kehilangan Penguapan.....	60
4.2.4 Jarak Terhadap L/G (Liquid/Gas)	69
4.2.5 Kapasitas Pendingin	75
4.2.6 Rasio Air dan Udara.....	80
4.2.7 Efektivitas	83
BAB 5. PENUTUP.....	90
5.1 Kesimpulan	90
5.2 Saran.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

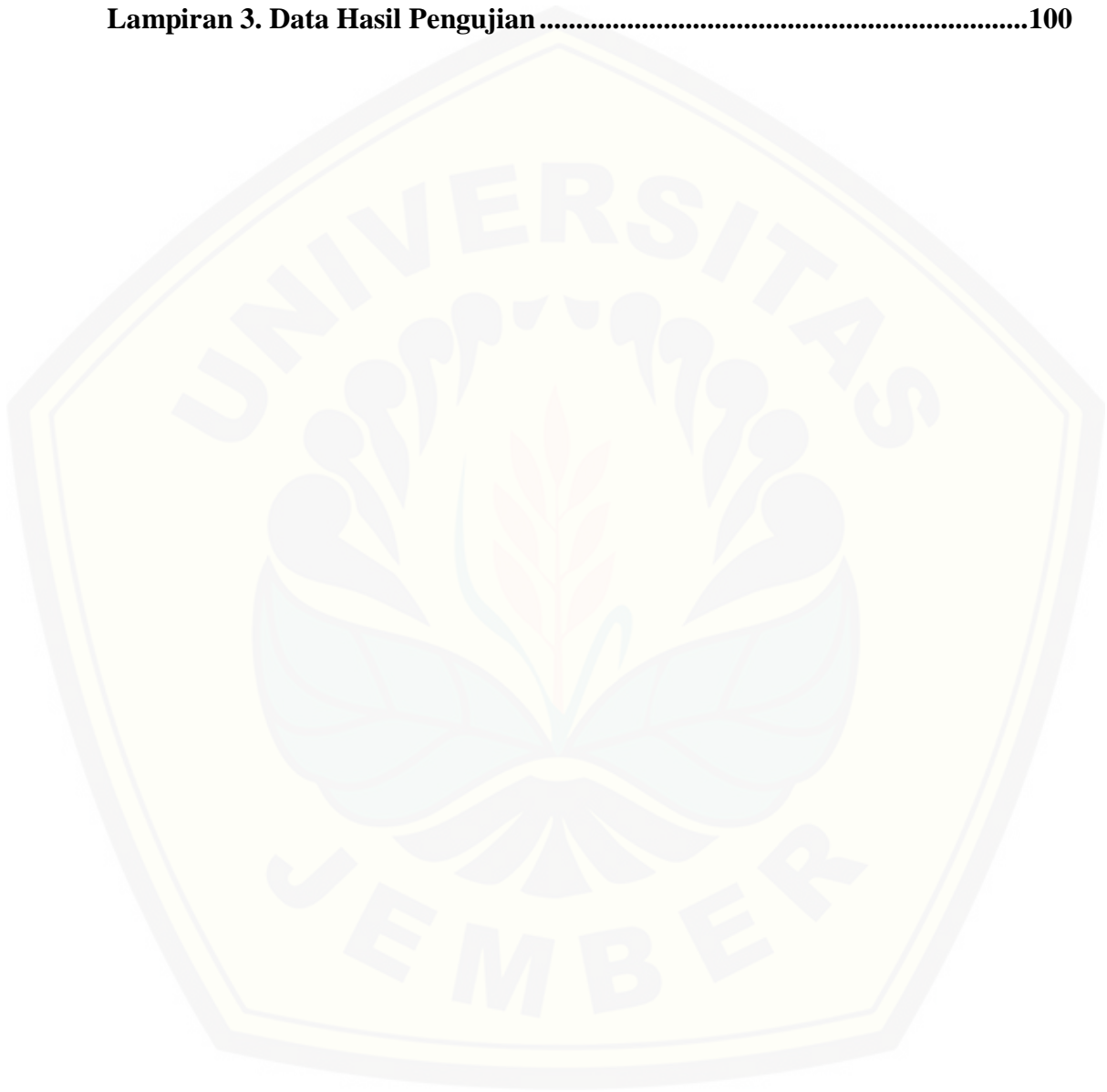
Tabel 2.1 Kalor Jenis Zat	22
Tabel 3.1 <i>Time Line Penelitian</i>	29
Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Air	30
Tabel 3.3 Spesifikasi Motor Listrik	30
Tabel 3.4 Variabel Bebas	34
Tabel 3.5 Variabel Terikat	35
Tabel 3.6 Contoh Format Pengambilan Data	36
Tabel 4.1 Data perhitungan efektivitas <i>cooling tower</i>	38
Tabel 4.2 Data perhitungan rasio air dan udara <i>cooling tower</i>	41
Tabel 4.3 Data perhitungan kapasitas pendingin <i>cooling tower</i>	43
Tabel 4.4 Data perhitungan kehilangan penguapan <i>cooling tower</i>	45
Tabel 4.5 Data perhitungan <i>liquid/gas cooling tower</i>	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik <i>Cooling Tower</i>	7
Gambar 2.2 Skematik Perpindahan Panas Air	8
Gambar 2.3 <i>Cooling Tower Natural Draft</i>	9
Gambar 2.4 <i>Cooling Tower Induced Draft Cross Flow</i>	10
Gambar 2.5 <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i>	11
Gambar 2.6 <i>Cooling Tower Forced Draft</i>	12
Gambar 2.7 Komponen-Komponen <i>Cooling Tower</i>	12
Gambar 2.8 <i>Flat Slat Splash Fill dan Triangular Slat Splash Fill</i>	14
Gambar 2.9 <i>Film Fill</i>	14
Gambar 2.10 Bahan Pengisi Jenis <i>Low-clog Film Fill</i>	15
Gambar 2.11 <i>Fan</i>	16
Gambar 2.12 Grafik Lintasan Udara Pada <i>Cooling Tower CounterFlow</i>	16
Gambar 2.13 Skema Kerja <i>Cooling Tower</i>	17
Gambar 2.14 Grafik <i>approach</i> dan <i>range</i> suhu pada <i>cooling tower</i>	18
Gambar 2.15 <i>Semicircular Arc</i>	21
Gambar 2.16 Pertukaran Energi <i>Cooling Tower Counter Flow</i>	23
Gambar 2.17 Diagram Entalpi Suhu udara dan Air	24
Gambar 2.18 Pompa	25
Gambar 3.1 Pengisi <i>Tile Keramik</i>	31
Gambar 3.2 Rangkaian <i>Cooling Tower Induced Draft Counter Flow</i>	33
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4.1 Grafik efektivitas <i>cooling tower</i>	39
Gambar 4.2 Grafik rasio air dan udara <i>cooling tower</i>	42
Gambar 4.3 Grafik kapasitas pendingin.....	44
Gambar 4.4 Grafik kehilangan penguapan.....	47
Gambar 4.5 Grafik L/G	50

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Bahan Pengisi <i>Tile</i> Keramik.....	97
Lampiran 2. Gambar Persiapan dan Pengambilan Data.....	98
Lampiran 3. Data Hasil Pengujian.....	100



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia merupakan anugerah sekaligus tantangan dalam membangun infrastruktur energi. Infrastruktur tersebut digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi secara merata dan handal di seluruh wilayah Indonesia. Energi merupakan sesuatu yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Total konsumsi energi di Indonesia pada tahun 2018 sekitar 114 *MTOE (Million Tonnes of Oil Equivalent)*. Total tersebut terdiri dari 40% sektor transportasi, 36% sektor industri, 16% sektor rumah tangga, komersial dan sektor lainnya masing-masing 6% dan 2% (Nasional, 2019). Sumber energi dapat diperoleh dari produksi energi yang terdiri dari minyak bumi, gas bumi, batubara, dan energi terbarukan.

Industri energi di Indonesia sebagian besar digunakan untuk pembangkit listrik. Kapasitas pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2018 mencapai 64,5 GW (GigaWatt). Kapasitas pembangkit listrik pada tahun 2018 sebagian besar berasal dari pembangkit listrik tenaga fosil seperti batubara (50%), gas bumi (29%), BBM (7%) dan energi terbarukan (14%) (Nasional, 2019). Dalam proses produksi energi banyak sekali elemen-elemen pendukung yang dibutuhkan untuk mendukung proses produksi untuk hasil produk yang maksimal dan efektif. Pada pembangkit listrik atau industri-industri lainnya dalam melakukan proses produksi akan menggunakan air panas. Air panas tidak bisa dibuang langsung ke lingkungan karena suhu tinggi dapat merusak lingkungan maka dibutuhkan pengolahan air panas hasil proses produksi. Salah satu alat yang dapat menjadi solusi dalam mengatasi hal tersebut dalam sebuah industri adalah *cooling tower*.

Cooling tower merupakan alat penukar kalor khusus dua fluida yaitu air dan udara. Air dan udara dikontakan langsung antara satu dengan lainnya untuk memindahkan panas dari air ke udara. *Cooling tower* biasanya berbentuk menara tanpa bahan pengisi (*filler*), air akan berjatuh dari atas menara dan udara dihembuskan dari bawah menara, maka akan terjadi kontak langsung antara air

panas dan udara sebagai media pendingin dengan mekanisme perpindahan kalor (Novianarenti dkk,2019).

Cooling Tower digunakan sebagai alat pendingin fluida dengan udara sebagai media pendingin. Salah satu upaya menghasilkan kerja yang maksimal maka diperlukan bahan pengisi yang berfungsi untuk menghambat laju aliran fluida sehingga waktu kontak air dengan udara akan semakin lama (Hidayat dkk, 2014). Semakin lama kontak air dengan udara pada *cooling tower* akan dapat menurunkan temperatur air dengan maksimal.

Keramik berasal dari bahasa Yunani “keramos” yang memiliki arti bahan atau mineral yang terbuat dari tanah liat yang dibakar. Keramik tersusun atas unsur logam dan non logam yang berikatan ionik dan kovalen. Keramik memiliki sifat keras, tahan panas, tahan korosi, serta mengandung satu atau lebih unsur logam termasuk oksigen. Keunggulan keramik dibanding logam sebagai bahan industri antara lain tidak korosif, ringan, keras, kuat, dan stabil pada suhu tinggi (Sidabutar, 2017). Keramik memiliki sifat tahan panas, keunggulan ini yang menjadikan keramik memiliki sifat lebih baik dari segi tahan panas dibandingkan dengan logam. Sifat lain yang membuat keramik lebih baik adalah tahan terhadap korosi.

Penelitian Hidayat (2014) meneliti tentang *Analisis Beban Kalor Cooling Tower Induced Draft Counterflow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung*. Penelitian ini bertujuan untuk mencari kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, ketinggian 100 cm, 150 cm, dan 200 cm menggunakan bahan pengisi bambu wulung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu awal dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya beban kalor. Efektivitas tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 40 °C, ketinggian 200 cm sebesar 68,08% dengan bahan pengisi. Perubahan temperatur tertinggi terjadi pada variasi suhu awal 70 °C, tinggi 200 cm, tanpa dan dengan bahan pengisi, dengan nilai 17 °C dan 23 °C.

Penelitian Prasetya (2016) meneliti tentang *Analisis Variasi Debit Air dan Ketinggian Pengisi Calciboard Terhadap Efektifitas Cooling Tower Forced Draft Counter Flow*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal dari

cooling tower. Variasi yang digunakan ketinggian 50 cm, 100 cm, 150 cm, dan variasi debit air 6 liter/menit, 12 liter/menit, 18 liter/menit dengan menggunakan bahan pengisi *calciboard*. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi debit dan tinggi *cooling tower* mengakibatkan naiknya kapasitas pendingin. Efektivitas tertinggi terjadi pada debit 12 liter/menit pada ketinggian pengisi 150 cm sebesar 57,1%.

Penelitian Faizah (2020) meneliti tentang *Analisis Performa Kinerja Cooling Tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi Alumunium Semicircular Arc*. Penelitian ini bertujuan mengetahui kinerja maksimal dari *cooling tower*. Variasi yang digunakan suhu awal 50 °C, 60 °C, 70 °C dan Kecepatan udara tanpa bahan pengisi 2 m/s, 4m/s, 6m/s dengan bahan pengisi 1,6 m/s, 2,4 m/s, 4,8 m/s dengan bahan pengisi alumunium. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas *cooling tower* mengalami kenaikan 18,56% dan kapasitas pendinginan juga mengalami kenaikan sebesar 1.918,85 J/s dari *cooling tower* tanpa bahan pengisi.

Penelitian Sobirin (2016) meneliti tentang *Analisis Variasi Kecepatan Fluida Dan Jarak Pengisi Serat Ijuk Pada Cooling Tower forced Draft Counter Flow*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal dari *cooling tower* dengan variasi kecepatan fluida masuk 1,14 m/s, 1,29 m/s, 1,55 m/s dan jarak pengisi 20 cm, 30 cm, 40 cm. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas pendinginan tertinggi terjadi pada variasi kecepatan fluida 1,29 m/s dengan jarak pengisi 40 cm sebesar 13,81 kJ/s dengan suhu air masuk 51,87 °C. Efektivitas tertinggi terjadi pada variasi kecepatan fluida 1,29 m/s dengan jarak 40 cm sebesar 84,40%. Bahan pengisi yang digunakan serat ijuk.

Penelitian Singh (2016) meneliti tentang *Studi Eksperimen Dan Mult Objective Optimasi Pada Cooling Tower Forced Draft Menggunakan Bahan Pengisi Yang Berbeda*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal *cooling tower* dengan variasi 3 jenis bahan pengisi, dan laju aliran masa air 0,017 kg/s, 0,019 kg/s, 0,020 kg/s, 0,021 kg/s. Jenis bahan pengisi yang di variasikan adalah *wire mesh*, *honeycomb*, dan *wooden splash fills*. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas tertinggi sebesar 25 % pada jenis bahan pengisi *wire mesh*

pada laju aliran massa air 0,021 kg/s. *Range* tertinggi sebesar 43 °C pada bahan pengisi *wire mesh* pada laju aliran massa air 0,021 kg/s. Tingkat penguapan tertinggi sebesar 0,00057 kg/s pada laju aliran masa 0,021 kg/s. Bahan pengisi yang digunakan *wire mesh*.

Penelitian Mahmud dkk (2013) meneliti tentang Studi Eksperimen *Cooling Tower* Basah Menggunakan Bahan Pengisi *Splash Tipe Fill*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal *cooling tower* dengan variasi kecepatan aliran air 3 lit/min, 5 lit/min, 7,5 lit/min suhu awal 56 °C. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas tertinggi sebesar 92% terjadi pada kecepatan aliran air 3 lit/min dengan kecepatan udara sebesar 26 m/s. Kapasitas pendingin tertinggi sebesar 3,5 TR pada kecepatan aliran air 7.5 lit/m dengan kecepatan udara 2,7 m/s. Bahan pengisi yang digunakan *splash film*.

Penelitian sebelumnya meneliti tentang berbagai variasi bahan pengisi *cooling tower* dengan bambu, *calciboard*, alumunium, serat ijuk, dan *splash film*. Keramik merupakan bahan pengisi yang nantinya akan digunakan pada penelitian ini, diharapkan dapat memperbaiki kelemahan pada penelitian sebelumnya. *Calciboard* dan bambu adalah bahan yang tidak tahan apabila terlalu lama dipakai pada kondisi yang lembab dan panas. Sifat *calciboard* dan bambu adalah menyerap air yang menyebabkan bahan pengisi tersebut rapuh dan patah. Keramik merupakan bahan pengisi yang akan menggantikan bahan pengisi pada penelitian sebelumnya. Keramik memiliki sifat yang lebih tahan air, tahan panas, dan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik (Ramkrishnan dan Arumugam, 2013). *Tile* keramik merupakan keramik yang biasa digunakan pada ujung lantai rumah. *Tile* Keramik memiliki bentuk melengkung yang mengacu pada penelitian sebelumnya dan menunjukkan kinerja *cooling tower* terbaik. *Tile* keramik dipilih untuk digunakan sebagai bahan pengisi dikarenakan memiliki ketahanan panas yang tinggi, tidak mudah korosi bila terkena air. Diharapkan penelitian ini menunjukkan performa *cooling tower* yang diharapkan selama ini dalam kinerja *cooling tower*.

Penelitian ini menggunakan jenis *cooling tower induced draft counter flow* dengan bahan pengisi keramik yang diberi variasi suhu, kecepatan udara dan jarak

antara bahan pengisi. Variasi merupakan perbaikan penelitian dari beberapa macam variasi *cooling tower* yang ada, diharapkan perbaikan bahan pengisi ini memaksimalkan kinerja *cooling tower* yang pernah dibuat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berdasarkan latar belakang masalah adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap efektivitas *cooling tower induced draft counter flow*?
- b. Bagaimana pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counter flow*?
- c. Bagaimana pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counter flow*?
- d. Bagaimana pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counter flow*?
- e. Bagaimana pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap L/G *cooling tower induced draft counter flow*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang muncul dari rumusan masalah tersebut yang mendasari melakukan penelitian ini diantaranya yaitu:

- a. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap efektivitas *cooling tower induced draft counter flow*
- b. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap rasio air dan udara *cooling tower induced draft counter flow*
- c. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap kapasitas pendingin *cooling tower induced draft counter flow*
- d. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap kehilangan penguapan *cooling tower induced draft counter flow*

- e. Untuk mengetahui pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap *L/G cooling tower induced draft counter flow*

1.4 Manfaat Penelitian

Setelah melakukan penelitian ini diharapkan memiliki manfaat sebagai berikut:

- a. Memperoleh informasi pengaruh kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik terhadap kinerja performa *cooling tower induced draft counter flow*
- b. Sebagai bahan pertimbangan dan masukan bagi peningkatan performa *cooling tower induced draft counter flow*
- c. Sebagai bahan acuan atau informasi bagi peneliti lain dalam pengembangan teknologi *cooling tower induced draft counter flow*

1.5 Batasan Masalah

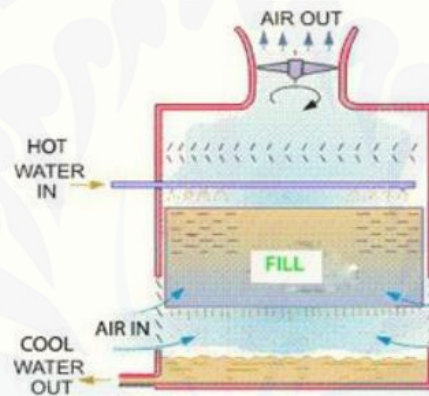
Ada beberapa batasan masalah yang digunakan untuk pengambilan data dan analisis sehingga mempermudah menganalisis permasalahan, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Fluida udara didalam *cooling tower* dianggap seragam
- b. Sistem aliran diasumsikan terisolasi sempurna
- c. Tekanan fluida diasumsikan konstan sepanjang aliran dalam *cooling tower*
- d. Air yang disemprotkan *nozzle* ke *cooling tower* dikondisikan secara merata
- e. Mengabaikan endapan pada pengisi

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan merupakan alat yang berfungsi untuk mendinginkan air melalui kontak langsung dengan udara melalui penukaran kalor yang menyebabkan sebagian kecil air akan menguap. Fungsi dari *cooling tower* yaitu memproses air panas menjadi air dingin, dimana panas dari air akan dibuang ke lingkungan, panas yang keluar dari *cooling tower* merupakan panas yang hilang dari air (Patil dkk, 2018). Gambar 2.1 merupakan skema *cooling tower*.

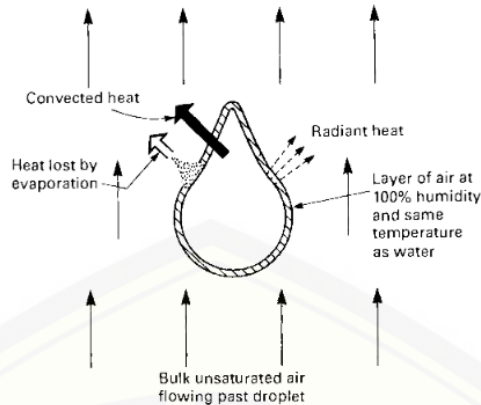


Gambar 2.1 Skematik *Cooling Tower*

(Sumber: Patil dkk, 2018)

2.2 Mekanisme Perpindahan Panas *Cooling Tower*

Mekanisme perpindahan panas air pada *cooling tower* diilustrasikan pada gambar 2.2 dimana transfer panas pada air terjadi dalam 3 cara. Secara radiasi dari permukaan tetesan dimana nilai dari radiasi ini sangat kecil dan biasanya diabaikan (Hill dkk, 1990). Gambar 2.2 merupakan skema perpindahan panas air ke udara.



Gambar 2.2 Skema Perpindahan Panas Air
(Sumber: Hill dkk, 1990)

Secara konduksi dan konveksi antara air dan udara yang dimana jumlah panas yang ditransfer akan tergantung pada suhu udara dan air. Secara evaporasi atau penguapan yang merupakan kunci keberhasilan pada *cooling tower*. Penguapan terjadi karena adanya kontak antara udara dan air yang disebabkan oleh perbedaan tekanan uap air di permukaan air dan udara. Aliran air panas yang masuk ke dalam *cooling tower* akan bersentuhan dengan udara dan terbawa keluar *cooling tower*. Jumlah penguapan yang terjadi bergantung pada luas permukaan air ke udara. Jumlah udara yang mengalir semakin besar maka akan semakin banyak pendinginan yang dicapai (Hill dkk, 1990).

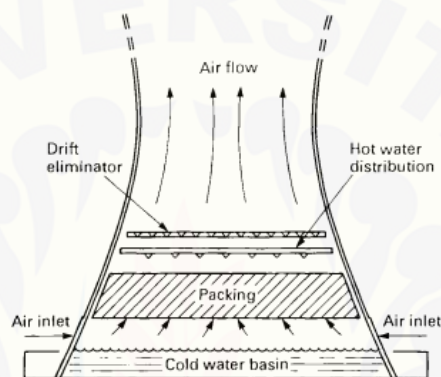
2.3 Jenis-Jenis *Cooling Tower*

Menara pendingin atau *cooling tower* dibagi menjadi dua jenis, menara pendingin *natural draft* dan menara pendingin *mechanical draft*.

2.3.1 *Cooling Tower Natural Draft*

Natural draft atau menara pendingin natural merupakan menara pendingin yang sistem kerjanya tanpa menggunakan kipas atau secara manual. Cara kerja *cooling tower* jenis ini adalah menggunakan perbedaan suhu udara antara udara ambien dan udara yang lebih panas dibagian dalam menara. Udara panas dialirkan ke menara, udara panas yang dialirkan akan mengalir ke atas melalui menara karena perbedaan tekanan antara udara panas dan udara dingin. Udara dingin yang

segar disalurkan ke menara melalui saluran udara masuk di bagian bawah. *Cooling tower* ini tidak memerlukan kipas, sirkulasi udara panas pada sistem ini tidak mempengaruhi kinerja *cooling tower*. *Cooling tower* ini memiliki konstruksi yang sangat besar menggunakan beton sebagai dinding *cooling tower* yang ketinggiannya mencapai 200 m. *Cooling tower* jenis ini digunakan untuk kapasitas yang sangat besar (Hill dkk, 1990). Gambar 2.3 merupakan bentuk *natural draft cooling tower*.



Gambar 2.3 *Cooling Tower Natural Draft*
(Sumber: Hill dkk, 1990)

2.3.2 *Cooling Tower Mechanical Draft*

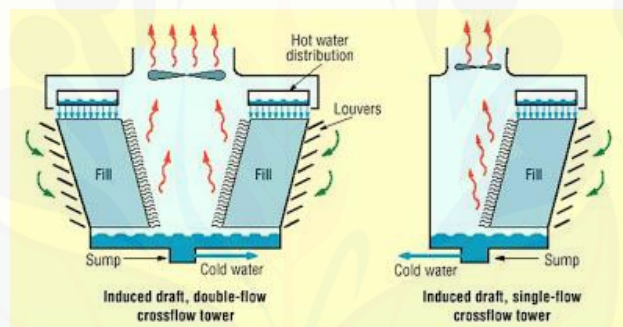
Cooling Tower Mechanical Draft merupakan jenis *cooling tower* yang membutuhkan kipas (*fan*) untuk mendorong atau mengalirkan udara. Parameter yang mempengaruhi pendinginan *cooling tower* jenis ini adalah diameter kipas (*fan*), kecepatan kipas, dan bahan pengisi. Ada dua jenis *cooling tower mechanical draft* yaitu tipe aliran angin tarik (*induced draft*) dan tipe aliran angin dorong (*forced draft*)

a. *Cooling Tower Induced Draft*

Induced draft adalah jenis *cooling tower* yang kipasnya dipasang pada bagian atas dari struktur *cooling tower* sehingga udara yang mengalir ditarik ke atas untuk disirkulasikan keluar untuk dibuang. Tipe *induced draft* dibedakan lagi menjadi dua tipe berdasarkan aliran udara masuk, yaitu:

1. *Cooling Tower Induced Draft Cross Flow*

Aliran udara diarahkan tegak lurus terhadap aliran air pada mekanisme tipe ini. Air melewati bahan pengisi masuk melalui puncak *cooling tower*. Udara masuk melalui salah satu sisi (menara aliran tunggal), atau pada kedua sisi (menara aliran ganda). Udara yang dialirkan melintasi bahan pengisi menuju saluran puncak seperti terlihat pada Gambar 2.4. Tipe ini memiliki keuntungan resirkulasi keluarannya udara 3 sampai 4 kali lebih tinggi daripada udara masuk. Kerugiannya adalah *fan* dan mekanisme penggerak motor harus tahan korosi karena jalur keluar yang lembab mengakibatkan *fan* mudah korosi dan menjadikan aliran udara keluar tidak maksimal (Putra, 2015). Gambar 2.4 merupakan skema *cooling tower induced draft cross flow*.



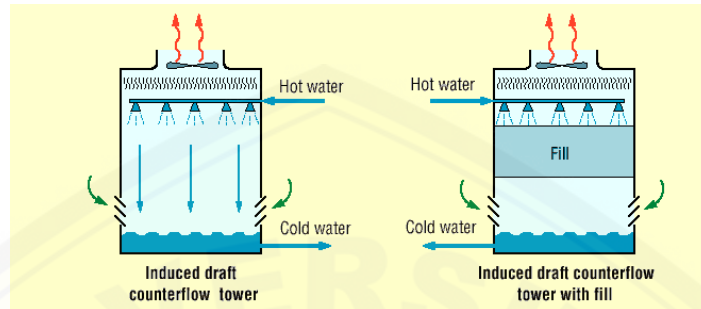
Gambar 2.4 *Cooling Tower Induced Draft Cross Flow*

(Sumber: Putra, 2015)

2. *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

Pada tipe ini aliran di dalam *cooling tower* berlawanan dengan arah air yang didinginkan. Udara yang ditarik oleh kipas atau *fan* mengarah ke atas sedangkan air yang didinginkan mengalir jatuh kebawah. *Cooling tower* jenis ini memiliki keuntungan yang sama dengan *cooling tower induced draft cross flow*. Keuntungannya resirkulasi lebih sedikit sebab kecepatan keluarannya udara tiga sampai empat kali lebih tinggi daripada udara masuk. Kerugiannya juga sama dengan *cooling tower induced draft cross flow*. Kipas atau *fan* dan mekanisme penggerak motor harus tahan cuaca terhadap embun dan korosi sebab komponen tersebut berada di jalur udara keluar yang lembab (Putra,

2015). Gambar 2.5 merupakan skema *cooling tower induced draft counter flow*.

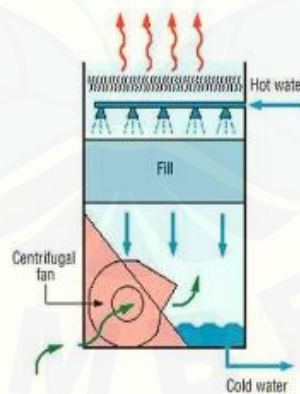


Gambar 2.5 *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

(Sumber: Putra, 2015)

b. *Cooling Tower Forced Draft*

Pada *cooling tower* jenis ini udara dihembuskan ke menara pendingin oleh *fan*. Udara masuk pada bagian bawah sehingga akan bertabrakan dengan air seperti yang ditunjukkan Gambar 2.6 (Putra, 2015).



Gambar 2.6 *Cooling Tower Forced Draft*

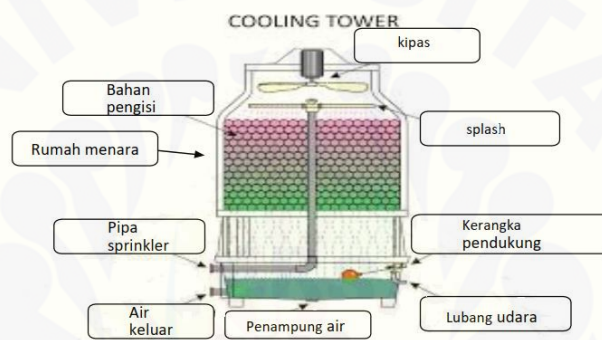
(Sumber: Putra, 2015)

Keuntungan *cooling tower* jenis ini adalah cocok untuk resistansi udara yang tinggi karena adanya *fan* dengan *blower* sentrifugal dan *fan* relatif tidak terlalu berisik. Kekurangan dari *cooling tower* jenis ini adalah resirkulasi, laju

udara masuk tinggi dan keluar rendah. Solusinya menempatkan menara pendingin dengan digabungkan dengan saluran buang pada ruangan pabrik.

2.4 Kontruksi dan Komponen *Cooling Tower*

Cooling tower memiliki kontruksi yang terdiri dari beberapa komponen dasar. Meliputi rangka dan wadah, bahan pengisi, kolam air dingin, *eliminator* aliran, saluran udara masuk, *louvers*, *nozzle*, dan *fan*. Gambar 2.7 merupakan komponen-komponen dari *cooling tower* (Putra, 2015).



Gambar 2.7 Komponen-Komponen *Cooling Tower*

(Sumber: Putra, 2015)

2.4.1 Kerangka Pendukung Menara (*Tower Supporter*)

Kerangka pendukung menara berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri tegak dan kokoh.

2.4.2 Rumah *Cooling Tower* (*Casing*)

Casing atau rumah *cooling tower* merupakan komponen yang berfungsi sebagai rumah dari komponen-komponen lain. *Casing* harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca agar komponen ini awet dan memiliki umur pakai yang lama.

2.4.3 Pipa *Sprinkler*

Pipa *sprinkler* merupakan komponen yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada *cooling tower*, sehingga perpindahan kalor dapat menjadi efektif dan efisien. Pipa *Sprinkler* dilengkapi dengan lubang-lubang kecil yang digunakan untuk menyalurkan air.

2.4.4 Penampung Air (*Water Basin*)

Penampung air merupakan komponen yang berfungsi untuk pengumpul air sementara yang jatuh dari bahan pengisi sebelum disirkulasikan kembali ke kondensor.

2.4.5 Lubang Udara (*Inlet Louver*)

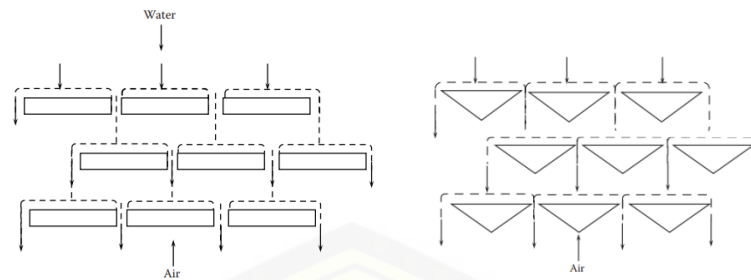
Lubang udara atau *inlet louver* merupakan komponen yang memiliki fungsi sebagai tempat masuknya udara melalui celah-celah yang ada. Melalui komponen ini dapat terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan didistribusikan.

2.4.6 Bahan Pengisi (*Filling Material*)

Bahan pengisi adalah komponen yang digunakan untuk memecah air sehingga luas permukaan air berubah. Luas permukaan yang lebih kecil membuat perpindahan panas dari air ke udara menjadi lebih cepat. Hampir semua menara pendingin menggunakan bahan pengisi (terbuat dari plastik atau kayu). Bahan pengisi harus kuat, tahan korosi, tahan lapuk, dan ringan. Jenis bahan pengisi:

a. Bahan Pengisi Jenis Percikan (*Splash Fill*)

Bahan pengisi jenis ini merupakan bahan pengisi dengan mekanisme air jatuh di atas lapisan yang berurut dari batang pemercik horizontal. Jatuhnya air secara terus menerus menjadikan air pecah menjadi tetesan yang lebih kecil. Perpindahan panas bahan pengisi jenis plastik lebih baik dibandingkan jenis kayu. Gambar 2.8 merupakan skematik aliran percikan dan profil *splash fill* (Stanford, 2012).

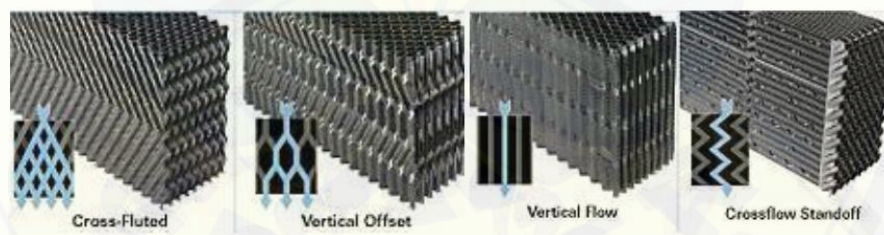


Gambar 2.8 *Flat Slat Splash Fill dan Triangular Slat Splash Fill*

(Sumber: Stanford, 2012)

b. Bahan Pengisi Jenis Film (*Film Fill*)

Film fill merupakan bahan pengisi yang terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan yang di atasnya terdapat semprotan air. Bentuk bahan pengisi ini membentuk lapisan film yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola yang lainnya. Jenis bahan pengisi jenis ini lebih efisien dan memberikan perpindahan panas yang sama dalam volume yang lebih kecil daripada bahan pengisi jenis *splash*. Gambar 2.9 merupakan bentuk *film fill*.



Gambar 2.9 *Film Fill*

(Sumber: Dongyue Industry, 2014)

c. Bahan Pengisi Sumbatan Rendah (*Low-Clog Film Fill*)

Bahan pengisi jenis ini dapat digunakan dan masih dikembangkan saat ini untuk menangani air yang keruh. Bahan pengisi jenis ini dapat digunakan untuk air laut karena adanya pengematan daya dan kinerjanya, dibandingkan tipe bahan

pengisi jenis percikan konvensional. Gambar 2.10 merupakan bentuk *low-clog film fill*.



Gambar 2.10 Bahan Pengisi Jenis *Low-clog Film Fill*

(Sumber: Dongyue Industry, 2014)

2.4.7 Saluran Udara Masuk

Titik masuk udara menuju menara merupakan pengertian dari saluran udara masuk. Letak saluran udara masuk bervariasi tergantung desain dari mesin pendingin itu sendiri. Saluran udara masuk yang berada di samping atau sisi menara (desain aliran melintang) atau dapat berada di bagian menara (desain aliran berlawanan arah).

2.4.8 Fan

Mensirkulasikan udara dan menarik udara yang ada di dalam *cooling tower* untuk mendinginkan air merupakan fungsi dari *fan*. Kinerja menara pendingin tidak akan optimal jika *fan* tidak berfungsi. Motor listrik merupakan komponen penggerak yang dihubungkan langsung dengan poros *fan* sehingga dapat bergerak. Gambar 2.11 merupakan bentuk kipas untuk sirkulasi udara pada *cooling tower*.



Gambar 2.11 Fan

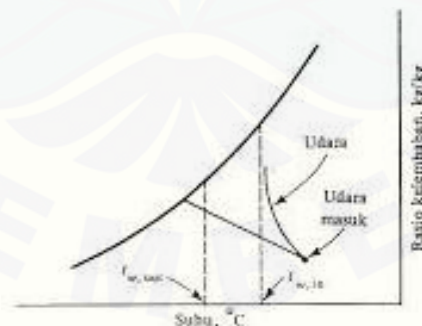
(Sumber: Sara Cooling Tower, 2019)

2.5 Fungsi dan Cara Kerja *Cooling Tower*

Adapun fungsi dan cara kerja *cooling tower* yaitu:

2.5.1 Fungsi *Cooling Tower*

Fungsi dari *Cooling Tower* secara garis besar adalah melepaskan kalor ke atmosfer. Pelepasan panas ini menggunakan udara bergerak untuk menurunkan suhu aliran air dengan cara melepaskan panas dari air dan membuangnya ke atmosfer. Adapun grafik lintasan udara pada *cooling tower* aliran berlawanan adalah seperti pada Gambar 2.12.

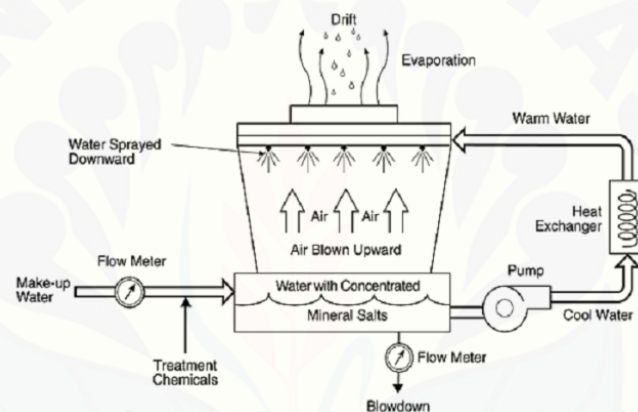
Gambar 2.12 Grafik Lintasan Udara Pada *Cooling Tower CounterFlow*

(Sumber: Stoecker dkk, 2009)

2.5.2 Cara Kerja *Cooling Tower*

Prinsip kerja *cooling tower* terjadi berdasarkan pada perpindahan kalor dan pelepasan kalor. Kalor berpindah pada *cooling tower* berlangsung dari air ke

udara. Prinsip kerja *cooling tower* dapat dilihat seperti pada gambar 2.13. Air dari bak penampung dipompa menuju heater untuk dipanaskan untuk keperluan industri dan setelah proses industri air di alirkan menuju *cooling tower*. Air yang panas tersebut masuk menuju *cooling tower* lalu di dalamnya air tersebut akan dikeluarkan melalui nozzle. Setelah proses tersebut air akan jatuh ke bawah. Pada jatuhnya air ke bawah proses perpindahan panas air ke udara akan berlangsung karena adanya kontak air dan udara. *Fan* berfungsi untuk mempercepat sirkulasi udara supaya udara panas dapat bergerak dengan cepat ke atas dan keluar dari *cooling tower*. Gambar 2.13 merupakan skema kerja *cooling tower*.



Gambar 2.13 Skema Kerja *Cooling Tower*
(Sumber: Hakim dkk, 2019)

Proses pendinginan air pada sistem ini sangat efektif karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara. Air yang sudah mengalami proses pendinginan akan ditampung di bak penampung. *Make up water* pada *cooling tower* dipasang untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* sedang berlangsung.

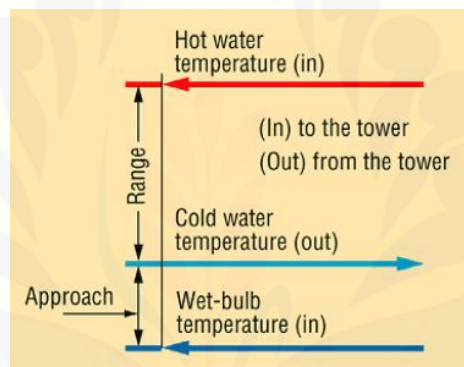
2.6 Kinerja *Cooling Tower*

Kinerja *cooling tower* dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* saat ini terhadap nilai desain. Analisis area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan. Selama evaluasi kinerja, alat-alat ukur

digunakan untuk mengukur parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja *cooling tower* antara lain:

- Temperatur udara bola basah
- Temperatur udara bola kering
- Temperatur air masuk *cooling tower*
- Temperatur air keluar *cooling tower*
- Laju aliran air
- Laju aliran udara

Range dan *Approach* merupakan parameter yang mempengaruhi prestasi *cooling tower* yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Grafik *approach* dan *range* suhu pada *cooling tower*

(Sumber: Hakim dkk, 2019)

Parameter tersebut digunakan untuk mengukur kinerja *cooling tower* dengan beberapa cara yaitu:

- Range*

Range adalah perbedaan antara suhu air masuk dan suhu keluar *cooling tower*. Semakin tinggi *range (cooling tower)* berarti semakin tinggi *cooling tower* dalam menurunkan suhu secara efektif (Sudirman, 2017). Persamaan 2.1 merupakan *range*. Dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C})] \dots \dots \dots (2.1)$$

b. Approach

Approach adalah perbedaan antara suhu air dingin keluar dan suhu bola basah pada *cooling tower*. Semakin rendah nilai *approach* maka kinerja *cooling tower* akan semakin baik (Sudirman, 2017). Persamaan 2.2 merupakan *Approach* yang dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = [\text{suhu keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{suhu bola basah ambien } (^{\circ}\text{C})] \dots \dots \dots (2.2)$$

c. Efektivitas

Efektivitas adalah perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu bola basah. Semakin tinggi nilai perbandingan ini maka akan semakin tinggi nilai efektivitas pada *cooling tower* (Fahrudin, 2018). Persamaan 2.3 merupakan efektivitas yang dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas } (\%) = 100 \times \text{Range} \div (\text{suhu masuk} - \text{suhu bola basah ambien}) \dots \dots \dots (2.3)$$

d. Kapasitas Pendingin

Kapasitas pendingin adalah panas yang dibuang dalam satuan kKal/jam, yaitu hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik dan perbedaan suhu. Kapasitas pendingin setara dengan kemampuan *cooling tower* dalam membuang panas ke lingkungan. Persamaan kapasitas pendingin adalah sebagai berikut (Kabir, 2020). Persamaan 2.4 merupakan kapasitas pendingin yang dituliskan sebagai berikut:

$$q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

\dot{m} = Debit air (kg/s)

C_p = Kalor Jenis Air (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar/*range* ($^{\circ}\text{C}$)

e. Liquid/Gas (L/G)

L/G adalah parameter yang digunakan untuk pemilihan suatu *cooling tower*, terutama dalam pemilihan kapasitas *fan*. Persamaannya adalah sebagai berikut (Stanford, 2012). Persamaan 2.5 merupakan L/G yang dituliskan sebagai berikut:

$$L/G = \frac{h_{a2} - h_{a1}}{(T_{\text{masuk}} - T_{\text{keluar}})} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

h_{a1} = Entalpi uap campuran air pada suhu wet bulb masuk (kJ/kg)

h_{a2} = Entalpi uap campuran air pada suhu wet bulb keluar (kJ/kg)

f. Kehilangan penguapan

Kehilangan penguapan merupakan jumlah air yang diuapkan untuk tugas pendingin. Secara teoritis jumlah penguapan untuk 10.000.000 kkal panas yang dibuang sebesar 1,8 m³ (perry, 1997). Persamaan 2.6 merupakan kehilangan penguapan yang dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Kehilangan Penguapan (m}^3/\text{jam}^\circ\text{C)} = 0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi (m}^3/\text{jam)} \times (T_1 - T_2) \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

$T_1 - T_2$ = Perbedaan suhu antara air masuk dan keluar (°C)

g. Rasio air dan udara

Rasio air dan udara adalah parameter yang digunakan untuk pemilihan menara pendingin terutama pemilihan kipas/*fan*. Rasio air dan udara merupakan perbandingan antara debit air spesifik terhadap debit udara spesifik (Handoyo, 2015). Persamaan 2.7 merupakan rasio air dan udara.

$$\text{Rasio air-udara} = \frac{\text{debit air spesifik (kg/m}^2\text{s)}}{\text{debit udara spesifik (kg/m}^2\text{s)}} \dots \dots \dots (2.7)$$

2.7 Keramik

Keramik adalah senyawa padat yang dibentuk oleh panas, tekanan, dan terdiri dari setidaknya dua unsur elemen. Salah satu unsur dari elemen keramik adalah unsur non-logam padat. Elemen lainnya berupa logam atau non-logam padat lainnya (Barsoum, 1997). Keramik adalah bahan anorganik mineral tambang yang pembuatannya diproses dengan pencampuran, pembentukan, pengeringan, dan pembakaran. Pembakaran pada suhu tinggi sampai mengalami vitrifikasi sehingga berbentuk padat dan bersifat permanen setelah dibakar.

Keramik memiliki ikatan ionik dan kovalen. Sifat dari material keramik bergantung pada ikatan yang dominan. Pada umumnya keramik adalah material yang kuat, keras, dan juga tahan korosi. Keramik juga memiliki densitas yang rendah dan titik lelehnya yang tinggi. Kelemahan keramik adalah kerapuhannya, yakni kecenderungan patah tiba-tiba dengan deformasi plastis. Keramik dibagi 2 berdasarkan jenisnya, yaitu keramik tradisional dan keramik lanjutan (modern):

- a. Keramik tradisional biasanya dibuat dari bahan dasar tanah liat dan silika. Keramik jenis tanah liat sudah digunakan selama lebih dari 25.000 tahun. Keramik tradisional biasanya dibuat dengan cara yang sederhana dan menggunakan teknologi rendah. Contoh keramik tradisional seperti ubin, batu bata, keramik putih (*whitewares*), dan tembikar (Barry, 2007).
- b. keramik modern merupakan keramik spesial, teknkis, atau teknik. Keramik modern memiliki sifat mekanik yang lebih unggul, tahan korosi ataupun oksidasi, sifat listrik ataupun magnetik. Keramik jenis ini biasanya dibuat dengan teknologi yang tinggi dengan proses komputer, dan di produksi dalam jumlah yang kecil dengan harga yang lebih tinggi. Keramik jenis ini antara lain piezoelektrik, keramik transistor dan kapasitor untuk alat elektronik (Barry, 2007).

2.8 Semicircular Arc

Semicircular dalam bahasa latin berarti “setengah” berarti dapat diartikan bahwa *semicircular arc* adalah setengah lingkaran. Definisi dari *semicircular arc* adalah bentuk tertutup yang terdiri dari setengah lingkaran dan diameter lingkaran

itu. Dapat dikatakan bahwa bentuk tersebut merupakan busur terbuka. Setengah lingkaran merupakan setengah lingkaran yang dibentuk oleh memotong seluruh lingkaran di sepanjang garis diameter. Diameter lingkaran dipotong menjadi setengah lingkaran yang sama (Srivastav, 2015). Gambar 2.15 menunjukkan bentuk *semicircular arc*.



Gambar 2.15 *Semicircular Arc*
(Sumber: www.mathopenref.com)

2.9 Air

Air merupakan zat cair yang tidak mempunyai rasa, warna dan tidak berbau pada kondisi standar, pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273, 15 K (0°C), yang memiliki rumus senyawa kimia H₂O. Satu molekul air tersusun atas dua hidrogen yang berikatan secara kovalen dengan unsur oksigen.

Air merupakan senyawa universal, zat-zat alamiah ataupun buatan pada tingkat tertentu terlarut di dalamnya. Dengan demikian, air mengandung zat-zat terlarut lainnya. Zat-zat tersebut disebut pencemar yang terdapat di dalam air. Air memiliki kalor jenis sebesar $4,2 \times 10^3$ kJ/kg.K. berikut ini adalah tabel kalor jenis beberapa zat (Kristanta, 2012). Tabel 2.1 merupakan kalor jenis zat.

Tabel 2.1 Kalor Jenis Zat

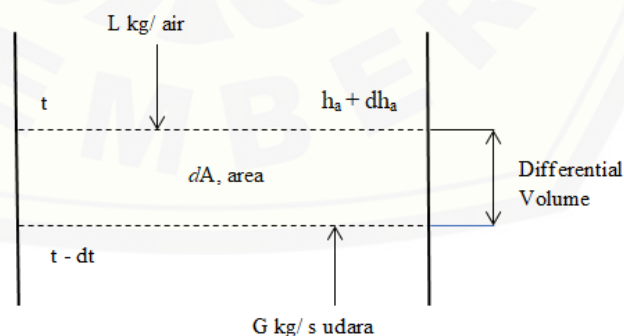
Zat	Kalor Jenis	
	Kal/g°C	J/Kg.K
Air	1,00	4200
Air laut	0,930	3900
Alkohol	0,550	230

Minyak tanah	0,520	220
Raksa	0,033	140
Es	0,595	2500
Alumunium	0.214	900
Kaca	0.160	670
Besi	0,110	460
Tembaga	0,093	390
Kuningan	0,900	380
Perak	0,056	230
Emas	0,031	130
Timbal	0,031	130

(Sumber: Kristanta, 2012)

2.10 Analisis *Cooling Tower Counter Flow*

Salah satu jenis *cooling tower* adalah *cooling tower* jenis *counter flow*. Gambar 2.16 merupakan penjelasan tentang volume diferensial *cooling tower counter flow*. Laju aliran air yang masuk dari bagian puncak sebesar L kg/s dan laju aliran udara masuk dari bagian dasar sebesar G kg/s. Sebagian kecil air yang menguap diabaikan, sehingga L dan G tetap konstan di bagian menara (Stoecker dkk, 2009). Gambar 2.16 merupakan pertukaran energi *cooling tower*.



Gambar 2.16 Pertukaran Energi *Cooling Tower Counter Flow*

(Sumber: Stoecker dkk, 2009)

Air masuk pada suhu t °C dan meninggalkan suhu yang sedikit lebih rendah $t - dt$. Udara masuk dengan entalpi h_a kJ/kg udara kering dan keluar dengan entalpi $h_a + dha$. Total area permukaan basah mencakup luas permukaan tetesan air dan juga kepingan – kepingan logam bahan atau bahan pengisi lainnya (Stoecker dkk, 2009). Laju kalor yang dilepas oleh air dq sama dengan laju kalor yang diterima udara seperti pada persamaan 2.8.

$$dq = G dha = L \left(4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot K \right) dt \cdot kW \dots \dots \dots (2.8)$$

Persamaan 2.9 merupakan persamaan lain untuk dq yaitu:

$$dq = \frac{hc dA}{c_{pm}} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.9)$$

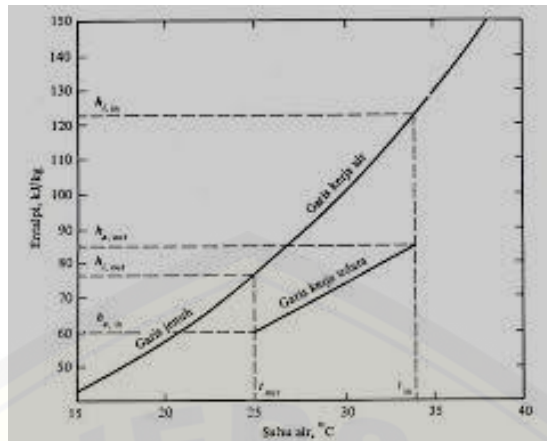
Dimana:

- h_c = Koefisien konveksi, $\text{kW/m}^2 \cdot K$
- h_1 = Entalpi udara jenuh pada suhu air, kJ/kg (udara kering)
- h_2 = Entalpi udara, kJ/kg (udara kering)
- C_{pm} = Kalor jenis udara lembab, $\text{kJ/kg} \cdot K$

Kombinasi dari persamaan (2.8) dan (2.9) akan menghasilkan persamaan untuk mencari besarnya kalor yang dipindahkan oleh seluruh bagian *cooling tower* seperti pada persamaan 2.10 berikut:

$$L \int_t^t \frac{dt}{h_1 - h_a} = \int_0^A \frac{hc dA}{C_{pm}} = \frac{hcA}{C_{pm}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan t_{in} dan t_{out} adalah suhu air yang masuk dan suhu air yang keluar dari *cooling tower*. Berikut merupakan Gambar 2.17 yang menjelaskan tentang entalpi udara dan air serta suhu (Stoecker dkk, 2009).



Gambar 2.17 Diagram Entalpi Suhu udara dan Air

(Sumber: Stoecker dkk, 2009)

Gambar 2.16 merupakan visual grafik antara suhu dan entalpi. Air masuk ke menara pada suhu t_{in} dan keluar dari menara pada suhu t_{out} dan entalpi udara jenuh berturut – turut adalah $h_{i_{in}}$ dan $h_{i_{out}}$. Entalpi udara yang masuk sebagai $h_{a_{in}}$ dan entalpi udara yang keluar $h_{a_{out}}$.

Garis jenuh pada Gambar 2.17 merupakan suhu air dan entalpi udara jenuh pada suhu air tersebut. Akan tetapi hanya kordinat entalpi saja yang berlaku bagi garis kerja udara. Kemiringan pada garis kerja udara yaitu 4,19 L/G dapat diperlihatkan dengan persamaan (2.8). Cara tradisional dalam melakukan integrasi terhadap persamaan (2.9) adalah dengan cara *numeric*. Ditunjukkan pada persamaan 2.11 berikut:

$$\frac{h_{ca}}{C_{pm}} = 4,19 L \Delta t \sum \frac{1}{(h_i - h_a)_m} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan $(h_i - h_a)_m$ adalah perbedaan antara harga tengah entalpi untuk suatu bagian kecil dari volume.

2.11 Pompa

Pompa merupakan alat yang digunakan untuk mengirim fluida cair. Jika fluida yang dikirim bukan fluida cair belum tentu pompa dapat melakukannya. Misalkan fluida yang dikirim fluida gas, maka pompa tidak dapat melakukan

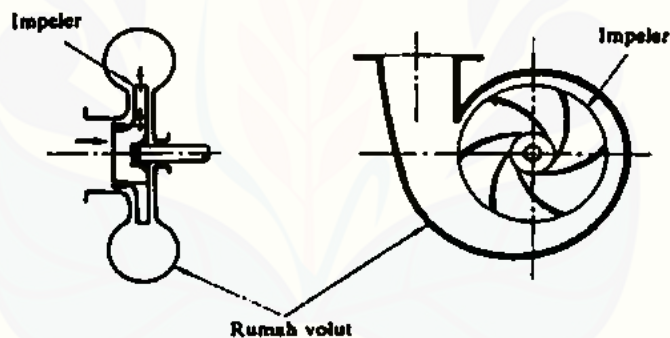
operasinya. Namun kendati demikian, teknologi sekarang sudah jauh berkembang dimana mulai diperkenalkan pompa multi – fasa. Pompa tersebut dapat memompakan fluida cair dan fluida gas. Klasifikasi pompa secara umum adalah sebagai berikut:

a. Pompa tekanan statis (*positive displacement pump*)

Prinsip kerja pompa tekanan statis adalah memberikan tekanan fluida secara periodik pada fluida yang terkurung di dalam rumah pompa

b. Pompa tekanan dinamis (*rotodynamic pump*)

Pompa tekanan dinamis merupakan pompa yang dapat disebut juga dengan *turbo pump*. Pompa jenis ini merupakan pompa jet dan pompa sentrifugal (Sularso dkk, 2000). Gambar 2.18 merupakan skema pompa dinamis.



Gambar 2.18 Pompa

(Sumber: Sularso dkk, 2000)

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian Hidayat (2014) meneliti tentang *Analisis Beban Kalor Pendingin Cooling Tower Induced Draft Counter Flow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung*. Penelitian ini dilakukan dengan percobaan dengan dimensi tinggi *cooling tower* sebesar 320 cm, luas 70 cm² dan penampang tabung dalam berdiameter 60 cm. Bahan pengisi terbuat dari bambu yang dibelah dengan dimensi lebar 4cm, tebal 1 cm, dan jarak antar bambu 0,2 cm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *cooling tower* dengan variasi suhu awal 40

°C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, ketinggian bahan pengisi 100 cm, 150 cm, dan 200 cm. Hasil penelitian menunjukkan hasil *range* tertinggi 23°C pada suhu awal 70 °C. *Approach* terendah 3,83 °C pada suhu 40°C. Kapasitas pendingin tertinggi 41,44 kJ/s pada suhu awal 70°C. Rasio air dan udara tertinggi 3,36 pada suhu awal 70°C. Kehilangan penguapan tertinggi 0,0053 L/menit pada suhu awal 70°C. Perbandingan masa *liquid/gas* (L/G) terbaik 1,06 kJ/kg.°C pada suhu awal 60°C. Efektivitas tertinggi 68,08% pada suhu awal 40°C.

Penelitian Sudrajat (2015) meneliti tentang *Analisis Variasi Tegangan Listrik Kipas Cooling Tower Induced Draft CounterFlow Dengan Bahan Pengisi Bambu Wulung*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja *cooling tower*. Variasi tegangan listrik pada kipas menggunakan metode eksperimental. Variasi suhu awal 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan variasi tegangan 0, 110, 200 volt. Hasil penelitian menunjukkan hasil *range* tertinggi 24,13°C pada suhu awal 60 °C. *Approach* terendah 3,05 °C pada suhu 40°C. Kapasitas pendingin tertinggi 14,19 kJ/s pada suhu awal 60°C. Rasio air dan udara tertinggi 2,75 pada suhu awal 40°C. Kehilangan penguapan tertinggi 1,610 L/menit pada suhu awal 60°C. perbandingan masa *liquid/gas* (L/G) terbaik 1,20 kJ/kg.°C pada suhu awal 60°C. Efektivitas tertinggi 78,11% pada suhu awal 40°C.

Penelitian Mulyono (2010) meneliti tentang analisis beban kalor *cooling tower* basah *induced-draft* aliran lawan arah. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan termometer bola basah, termometer bola kering, anemometer, dan pengukuran debit air di *cooling tower*. Hasil pengujian dengan suhu lingkungan sebesar 27°C sampai 34°C. Menunjukkan *range* tertinggi 6°C. *Approach* terendah 4,5°C pada suhu awal 37,5 °C. Efektiviats menara sebesar 31,6 % sampai dengan 57,1 % dan rata – rata 45, 1 %. Beban kalor pendingin dari 831,52 kJ/s sampai 1663,03 kJ/s dengan rata – rata 1330,4 kJ/s. Beban kalor penguapan sebesar 50,1 % sampai 65,2% dengan rata – rata sebesar 56,3 % dari beban pendinginan. Beban penambahan panas sensibel ke udara 34,8 % sampai 47,7 % dengan rata – rata 43,7 %. Perbandingan L/G sebesar 1,4 sampai 1,47 dengan rata – rata 1,43 (kg air/ kg udara). Berdasarkan rasio L/G *cooling tower* ini bersesuaian dengan tipe *cooling tower* basah isian cetus (*splash fill*) yang memiliki rasio L/G 1,1

sampai 1,5. Beban kalor penguapan rata – rata masih dibawah nilai yang dirujukan yang bernilai 60 % sampai 75 %.

Penelitian Kabir dkk (2020) membahas tentang peningkatan performa *cooling tower induced draft counter flow* dengan merubah tipe bentuk bahan pengisi yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal menara pendingin. Variasi bentuk bahan pengisi tipe *regular-shaped splash fills*, *regular-shaped film fills*, *inverted-U shaped splash fills*, *film fills with ripple plates*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahan pengisi yang di modifikasi bentuknya meningkatkan kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*. *Range* tertinggi 12,5°C pada suhu awal 75,7°C. *Approach* terendah 3,3°C di suhu awal 40,5°C. Kapasitas pendingin tertinggi 7 KW pada suhu awal 75,7. Kehilangan penguapan tertinggi 0,00027 kg/s pada suhu awal 60,3°C. Efektivitas tertinggi pada tipe bahan pengisi *film fill* sebesar 71,19 % pada suhu awal 40,5°C.

Penelitian Sudirman (2017) membahas tentang pengaruh variasi debit air terhadap kinerja *cooling tower induced draft counter flow*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa dari *cooling tower* yang dibuat. Variasi debit air 30 l/m, 35 l/m, 41 l/m, 46,7 l/m, 53,3 l/m, dan 64, 9 l/m. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan temperatur *range* seiring dengan peningkatan variasi debit air sebesar 2,8 °C, 3,05 °C, 3,7 °C, 4,4 °C, 4,8 °C, 5,1 °C pada suhu awal 34 °C - 35°C. *Approach* mengalami penurunan seiring dengan peningkatan variasi debit air sebesar 6,9 °C, 6,15 °C, 5,4 °C, 5,35 °C, 5,3 °C, 5,2 °C pada suhu awal 34 °C - 35°C. Efektivitas mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan variasi debit air sebesar 41%, 50%, 69%, 82%, 91%, 98%. Kapasitas pendingin mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan variasi debit air sebesar 13,022 kC/h, 14,185 kC/h, 17,208 kC/h, 20,463 kC/h, 22,324 kC/h, 23,719 kC/h.

Penelitian Fahrudin dkk (2018) membahas tentang pengaruh diameter dan jumlah semprotan lubang nozel di *cooling tower counter flow* untuk meningkatkan efektifitas pendingin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas *cooling tower*. Variasi diameter nozel 1 mm, 1,5 mm, 2 mm dan variasi jumlah lubang nozel 4, 8, 12, dan 16. Hasil penelitian menunjukkan *range* tertinggi 5,7°C pada suhu awal 40°C. *Approach* terendah 9°C pada suhu

awal 40°C. Efektivitas tertinggi terjadi pada diameter 1,5 mm dengan tekanan air 0,75 kPa dan jumlah lubang 8 sebesar 38,77%.

Penelitian Novianarenti dkk (2019) membahas tentang studi eksperimental karakteristik performa *cooling tower induced draft* dengan variasi bahan pengisi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik performa *cooling tower*. Variasi bentuk bahan pengisi yaitu *straight filler* (bentuk datar), *zig-zag filler* (bentuk zig-zag), dan *wave filler* (bentuk bergelombang). Variasi lainnya yaitu kecepatan udara masuk 2 m/s, 4 m/s, dan 6 m/s. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas tertinggi terjadi di *wave filler* dengan kecepatan udara masuk 6 m/s yang nilainya 88%. Efektivitas terendah di *straight filler* dengan kecepatan udara 2 m/s yang nilainya 69%.

Penelitian Ramakrishnan dan Arumugam (2014) membahas tentang studi eksperimental dan analisis performa *cooling tower* dengan bahan pengisi ceramic menggunakan metode taguchi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa kinerja *cooling tower* menggunakan 3 variasi bentuk keramik. *Curved ceramic tile* 20 mm, *curved ceramic tile* 100 mm, dan *triangular ceramic tile* dengan metode taguchi, *regression equation*, dan eksperimental. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas tertinggi terjadi pada bentuk *curved ceramic tile* 20 mm sebesar 74,38 % dengan metode taguchi. 73,66 % dengan metode *regression equation*. Metode eksperimental 74,1 %. Terendah terjadi pada bentuk *triangular ceramic tile* sebesar 67,44 % dengan metode taguchi. 66,37 % dengan metode *regression equation*. Metode eksperimental 66,85 %.

Penelitian Kong dkk (2018) tentang eksperimen investigasi fenomena perpindahan panas dan massa di *cooling tower counterflow* menggunakan bahan pengisi *foam ceramic*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja terbaik *cooling tower*. Menggunakan variasi bahan pengisi *foam ceramic* dan variasi suhu awal 32 °C, 35 °C, 38 °C. Hasil penelitian menunjukkan *range* tertinggi 14°C pada suhu awal 38°C. Efektivitas tertinggi terjadi pada suhu awal 38 °C dengan L/G 0,56 sebesar 0,78%. Terendah di suhu awal 32 °C dengan L/G 1,65 sebesar 0,41%.

Penelitian Bedekar dkk (1998) tentang eksperimental investigasi performa *cooling tower counter flow* pengisi *packed-bed mechanical cooling tower*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *cooling tower*. Menggunakan variasi suhu awal. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin besar suhu awal maka efektifitas *cooling tower* akan semakin besar. *Range* tertinggi 10°C pada suhu awal 50°C. Efektivitas tertinggi di suhu 50 °C dengan L/G 0,048 sebesar 80,5 %. Efektivitas terendahnya di suhu 40 °C dengan L/G 0,085 sebesar 72,3 %.

Penelitian Handoyo (2015) tentang analisis performa *cooling tower* LCT 400 pada P.T. XYZ, Tambun Bekasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa *cooling tower* LCT 400. Menggunakan variasi suhu awal air masuk *cooling tower*. Hasil penelitian menunjukkan *range* tertinggi pada suhu awal air 39,9 °C sebesar 7,5 °C. *Approach* terendah di suhu awal 33,6°C sebesar 2,7 °C. Efektivitas tertinggi di suhu awal 39,9 °C sebesar 60 %. Kapasitas pendingin tertinggi di suhu awal 39,9 °C sebesar 2,0 m³/jam °C. Kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 39,9 °C sebesar 3,6 m³/jam.

Penelitian Joshi (2020) tentang eksperimental investigasi *cooling tower induced draft*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performa *cooling tower* guna meningkatkan efisiensi dengan menganalisis dan meminimalkan kerugian yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan *range* tertinggi 8,38 °C pada suhu awal 41,2°C. *Approach* terendah 2,86°C pada suhu awal air 41,2°C. Kapasitas pendingin tertinggi 2098,5 Kcal/sec pada suhu awal 41,2°C. Kehilangan penguapan 11,53 m³/hr pada suhu awal 41,2°C. Efektivitas tertinggi 74,55% pada suhu awal 41,2°C.

Penelitian Yulianto (2013) tentang perancangan *cooling tower* untuk alat penukar kalor *shell and tube* kapasitas skala laboratorium. Tujuan penelitian untuk mengetahui kinerja *cooling tower*. Hasil penelitian selisih *range* maksimum yang dapat dicapai pada penelitian ini sebesar 6 °C pada suhu awal 40°C. *Approach* yang terendah pada penelitian ini 1,05 °C dengan beban *oil cooler* pada suhu awal 40°C. Efektivitas tertinggi yang diperoleh 85,10%. Kapasitas pendingin yang diperoleh 1,33 kJ/s. Kehilangan penguapan yang diperoleh sebesar 1,944 m³/s.

Perbandingan laju aliran massa air dan udara dengan $T_{w_{in}} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $T_{w_{out}} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ adalah $0,95\text{ kJ/kg}$.

2.13 Hipotesis

Hipotesis awal pada pengujian *cooling tower*. Merubah kerapatan dan jarak antar *layer* dari pengisi keramik yang divariasikan dengan kecepatan udara dan suhu air masuk akan meningkatkan performa kinerja *cooling tower counter flow*. Penambahan bahan pengisi keramik diharapkan dapat memecah, memperluas permukaan air dan menghambat laju aliran air panas yang jatuh dari nozzle. Perpindahan panas air dan udara menjadi semakin cepat yang akan mempengaruhi efektivitas dan kapasitas pendinginannya juga semakin tinggi ditambah dengan adanya udara yang dihisap oleh kipas atau *fan*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode eksperimental adalah metode yang digunakan pada penelitian ini dengan variasi suhu awal, kecepatan udara, dan ketinggian bahan pengisi. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung untuk memperoleh data eksperimen yang empiris. Objek penelitian yang akan diamati adalah pengaruh suhu air awal, kecepatan udara, dan ketinggian bahan pengisi dengan 3 lapis bahan pengisi. terhadap performa kinerja *cooling tower induced draft counter flow*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan susunan rencana atau *time line* yang telah disusun. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember pada bulan September 2020 sampai dengan Juni 2021. Tabel 3.1 berikut merupakan *time line* penelitian.

Tabel 3.1 *Time Line* Penelitian

Minggu Ke -

No	Kegiatan	September 2020				Oktober 2020				November 2020				Desember 2020- Juni 2021			
		1 2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4			
		1	Studi Literatur	█													
2	Pembuatan Alat					█				█							
3	Pengambilan Data					█				█							
4	Pengolahan Data									█				█			
5	Laporan													█			

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian meliputi:

3.3.1 Alat dan Instrumen Penelitian

- a) Satu unit *cooling tower induced draft counter flow* dengan diameter 45 cm
- b) *Thermocopel* Extech Instruments 4 Channel Tipe J, K, E, T, R, S (Tipe K)
- c) *Stopwatch* Any Time XL-019
- d) *Flowmeter* Nankai SNI 2547:2008
- e) *Voltage Regulator*
- f) *Anemometer* Extech CFM/CMM Anemometer/Termometer AN200
- g) Pompa air, dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini:

Tabel 3.2 Spesifikasi Pompa Air

Merk	Shimizu
Daya Pompa	125 Watt
Hs	9 meter
H	20-10 meter
Kapasitas	10-18 liter/menit

- h) *Fan* diameter 35 cm
- i) Motor Listrik 1 phasa, dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini:

Tabel 3.3 Spesifikasi Motor Listrik

Merk	HAPPY YYG-70
Daya	70 Watt
Volt	220 V
Frekuensi	50 Hz
Arus	0,72 A

- j) Sakelar kabel
- k) Pipa

- l) Kompor LPG
- m) Heater *Coil*
- n) Bak penampung
- o) *Nozzle*

3.3.2 Bahan Penelitian

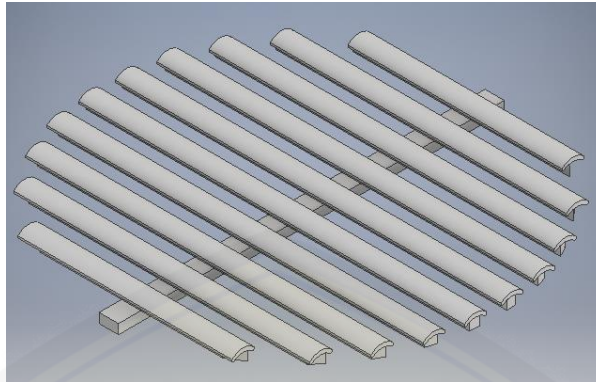
Bahan Penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) *Tile* keramik sebagai bahan pengisi *cooling tower*. Bahan yang digunakan untuk menempel keramik pada besi adalah *silicone sealent* atau lem kaca
- b) Air yang dipanaskan menggunakan *heater* sebagai fluida kerja

3.4 Spesifikasi *Cooling Tower*

Spesifikasi *cooling tower* adalah sebagai berikut:

- a) Kerangka dibuat dari besi hollow dengan ketebalan besi 1,2 mm dan ketinggian keseluruhan 2,5 m
- b) Diameter *cooling tower induced draft counter flow* 45 cm
- c) Bak penampung (*basin*) berdiameter sebesar 47 cm dan tinggi 50 cm
- d) Bahan pengisi menggunakan material *Tile* keramik sebanyak 3 lapis (*layer*), rangkaian bahan pengisi dengan jari-jari 2,3 cm disusun dengan jarak susunan antar bahan pengisi keramik 1,5 cm dan tinggi pengisi 0,8 cm. Jarak antar lapis (*layer*) bahan pengisi adalah 10 cm, 15 cm, 20 cm. Jarak tersebut diukur dari awal bagian bawah rumah menara dengan bahan pengisi dan juga antar bahan pengisi. Gambar 3.1 merupakan bentuk pengisi *tile* keramik



Gambar 3.1 Pengisi *Tile* Keramik

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.5.1 Persiapan Alat Pengujian

Alat uji disiapkan dengan merangkai ulang instalasi perpipaan sesuai kebutuhan. Pengujian menggunakan *cooling tower induced draft counter flow* dengan bahan pengisi keramik *semicircular arc* dan pemanas air (*heater*)

3.5.2 Pemeriksaan Alat Pengujian

Memeriksa semua alat pengujian untuk mengetahui kondisi alat, mengetahui kelengkapan alat uji *cooling tower induced draft counter flow* dan tes sirkulasi air.

3.5.3 Tahapan Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara mengukur dan mencatat semua variabel saat melakukan pengujian. Tahapan dalam melakukan pengujian adalah sebagai berikut:

- a) Merangkai komponen-komponen *cooling tower*. Bahan pengisi keramik *semicircular arc* dipasang dibawah *fan* sesuai dengan variasi tinggi yang ditentukan.

T_1 : Suhu air masuk *cooling tower*

T_2 : Suhu air keluar *cooling tower*

T_{db} : Suhu bola kering *cooling tower*

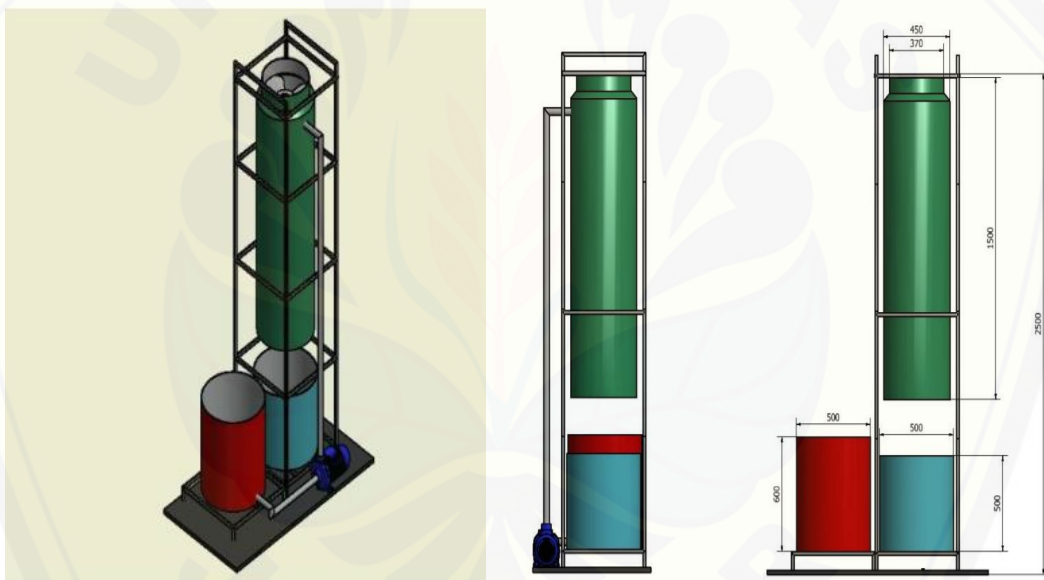
T_{wb1} : Suhu bola basah masuk *cooling tower*

T_{wb2} : Suhu bola basah keluar *cooling tower*

- b) Panaskan air dalam *heater* dengan variasi suhu yang ditentukan lalu hidupkan *fan* sesuai kecepatan udara yang di variasikan.
- c) Hubungkan motor penggerak pompa pada *cooling tower*.
- d) Selanjutnya, jalankan alat uji sampai sistem dan aliran air berjalan dengan baik pada *cooling tower*.
- e) Catat suhu yang ditunjukkan oleh pengukur dengan variasi *cooling tower* yang sudah ditentukan.
- f) Pengumpulan data dan Pengolahan data

3.5.4 Rangkaian *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

Adapun gambar rangkain *cooling tower* seperti ditunjukkan pada gambar 3.2

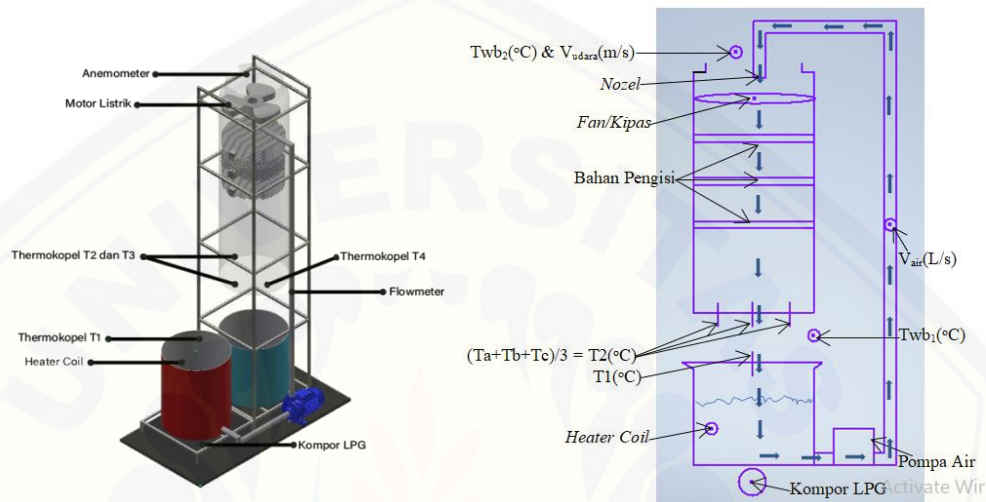


Gambar 3.2 Rangkaian *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

3.5.5 Skema Aliran Air pada *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

Air dipanaskan dengan kompor gas dan *heater coil* dengan variasi suhu 50°C, 60 °C, 70 °C. Setelah proses pemanasan selesai, air panas dengan variasi suhu tersebut di pompa menuju bagian atas *cooling tower* dan keluar dengan di semprotkan oleh *sprinkle nozzle*. Secara bersamaan *fan* berputar untuk menghisap udara. Air yang di semprotkan oleh *nozzle* akan turun karena adanya gaya gravitasi kemudian mengenai bahan pengisi sehingga luas permukaan air akan

berubah. Perubahan luas permukaan air tersebut akan mempengaruhi perpindahan panas konveksi. Air akan turun ke bawah ditampung oleh bak penampung, lalu dipanaskan kembali. Begitu seterusnya sampai pengambilan data selesai. Gambar 3.3 merupakan skema *cooling tower*.



Gambar 3.3 Skema *Cooling Tower*

3.5.6 Variabel

Variabel adalah variasi atau segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh data informasi tentang hal yang diinginkan dan dibutuhkan, kemudian ditarik kesimpulan.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variasi bebas yang mempengaruhi atau yang menyebabkan terjadinya perubahan. Variabel bebas adalah faktor-faktor yang dipilih dan ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas penelitian ini adalah suhu awal, kecepatan udara, dan jarak antara bahan pengisi dengan bahan pengisi dan tanpa bahan pengisi. Tabel 3.4 merupakan variabel bebas.

Tabel 3.4 Variabel Bebas

No	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
1	Suhu Awal (T_0)	50 °C	60 °C	70 °C
		A	B	C

2	Kecepatan Udara	Tanpa Bahan Pengisi	4 m/s	6 m/s	8 m/s
		Dengan Bahan Pengisi	4 m/s	6 m/s	8 m/s

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nantinya digunakan sebagai data perhitungan, atau secara definisi variabel yang bergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diamati dan diukur oleh peneliti untuk menentukan pengaruh dari variabel bebas. Tabel 3.5 merupakan variabel terikat.

Tabel 3.5 Variabel Terikat

No	Variabel Terikat	Satuan
1	Suhu air masuk (T_1)	$^{\circ}\text{C}$
2	Suhu air keluar (T_2)	$^{\circ}\text{C}$
3	Suhu bola basah (T_{wb})	$^{\circ}\text{C}$
4	Suhu bola kering (T_{db})	$^{\circ}\text{C}$

3.6 Analisis Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow*

Analisis performa kinerja *cooling tower* adalah sebagai berikut:

1. *Range*

$$\text{Range } (^{\circ}\text{C}) = [\text{Suhu masuk } (^{\circ}\text{C}) - \text{Suhu keluar } (^{\circ}\text{C})]$$

2. *Approach*

$$\text{Approach CT } (^{\circ}\text{C}) = [\text{Suhu keluar } (^{\circ}\text{C}) - \text{Suhu bola basah } (^{\circ}\text{C})]$$

3. Efektivitas

$$\text{Efektivitas } (\%) = 100 \times \text{Range} / (\text{Suhu masuk} - \text{suhu bola basah})$$

4. Kapasitas pendinginan

$$q = \dot{m} C_p \Delta T$$

Dimana:

q = Kapasitas pendinginan (kJ/s)

\dot{m} = Debit air (kg/s)

C_p = Kalor jenis air (kJ kg. K)

ΔT = Perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (K)

5. L/G (Liquuid/Gas)

$$L/G = \frac{h_{a1} - h_{a2}}{(T_{masuk} - T_{keluar}) \times C_p \text{ air}}$$

6. Kehilangan penguapan

Kehilangan penguapan ($\text{m}^3/\text{jam}^\circ\text{C}$) = $0,00085 \times 1,8 \times \text{laju sirkulasi} (\text{m}^3/\text{jam}) \times (T_1 - T_2)$

Dimana:

$T_1 - T_2$ = Perbedaan suhu masuk dan suhu keluar ($^\circ\text{C}$)

7. Rasio air dan udara

$$\text{Rasio air-udara} = \frac{\text{debit air spesifik (kg/m}^2\text{s)}}{\text{debit udara spesifik (kg/m}^2\text{s)}}$$

3.7 Pengambilan Data

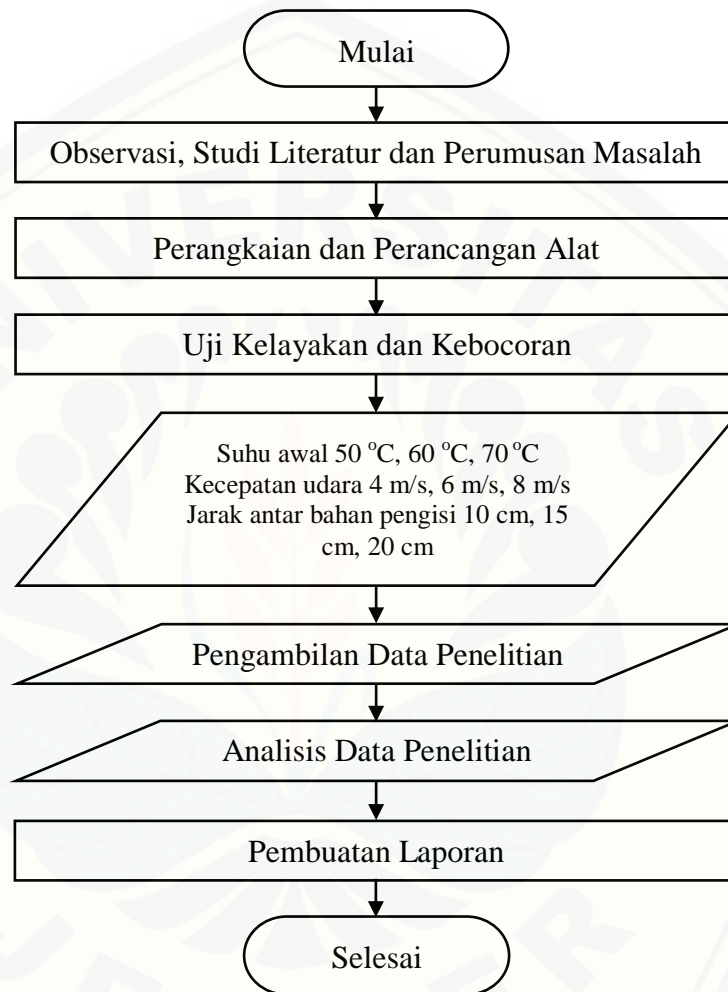
Pengambilan data dilakukan pada saat melakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan cara memvariasikan suhu masuk (T_1), ketinggian bahan pengisi, dan kecepatan putar *fan*. Tabel 3.6 merupakan contoh format pengambilan data:

Tabel 3.6 Contoh Format Pengambilan Data

No	Waktu	T1($^\circ\text{C}$)	T2($^\circ\text{C}$)	Twb1	Twb2	Tdb
1	0					
2	30					
3	60					
4	90					
5	120					
6	150					
7	180					
8	210					
9	240					

3.8 Diagram Alir

Diagram alir proses dan alur penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Adapun hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut pada tabel 4.1:

Tabel 4.1 Hasil Pengujian

Jarak Antar Bahan Pengisi (cm)	Kecepatan Udara Keluar Cooling Tower (m/s)	T1 (°C)	T2 (°C)	Twb 1 (°C)	Twb 2 (°C)	Tdb (°C)	Qudara (m ³ /s)	Qair (m ³ /s)
0 (tanpa pengisi)	4	50	32.400	27	29	31	0.64	0.000071
		60	36.004	28	30	32	0.64	0.000071
		70	40.704	27	28	30	0.64	0.000071
	6	50	32.056	27	28	31	0.95	0.000071
		60	34.426	26	28	29	0.95	0.000071
		70	38.189	27	28	29	0.95	0.000071
	8	50	32.104	27	28	30	1.27	0.000071
		60	31.915	25	28	31	1.27	0.000071
		70	37.193	27	29	32	1.27	0.000071
10	4	50	31.226	26	29	30	0.64	0.000071
		60	28.578	21	26	31	0.64	0.000071
		70	35.863	27	29	32	0.64	0.000071
	6	50	30.207	25	27	31	0.95	0.000071
		60	28.400	20	23	31	0.95	0.000071
		70	32.578	22	24	32	0.95	0.000071
	8	50	30.030	25	27	30	1.27	0.000071

		60	32.122	26	28	31	1.27	0.000071
		70	31.248	22	25	32	1.27	0.000071
15	4	50	34.515	27	28	32	0.64	0.000071
		60	37.415	27	28	32	0.64	0.000071
		70	30.641	20	22	32	0.64	0.000071
	6	50	34.737	27	28	31	0.95	0.000071
		60	36.563	27	28	33	0.95	0.000071
		70	36.633	26	28	35	0.95	0.000071
	8	50	33.667	27	28	31	1.27	0.000071
		60	35.526	27	30	33	1.27	0.000071
		70	36.993	27	30	34	1.27	0.000071
20	4	50	31.574	25	27	31	0.64	0.000071
		60	35.581	27	28	34	0.64	0.000071
		70	35.911	27	28	35	0.64	0.000071
	6	50	31.222	25	27	31	0.95	0.000071
		60	35.807	28	29	32	0.95	0.000071
		70	34.248	25	27	34	0.95	0.000071
	8	50	30.137	25	27	31	1.27	0.000071
		60	33.633	27	30	33	1.27	0.000071
		70	33.267	26	30	34	1.27	0.000071

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian diolah dengan melakukan perhitungan-perhitungan sehingga didapatkan hasil perhitungan *range*, *approach*, kehilangan penguapan, L/G, kapasitas pendingin, rasio air dan udara, dan efektivitas. Adapaun hasil perhitungan tersebut:

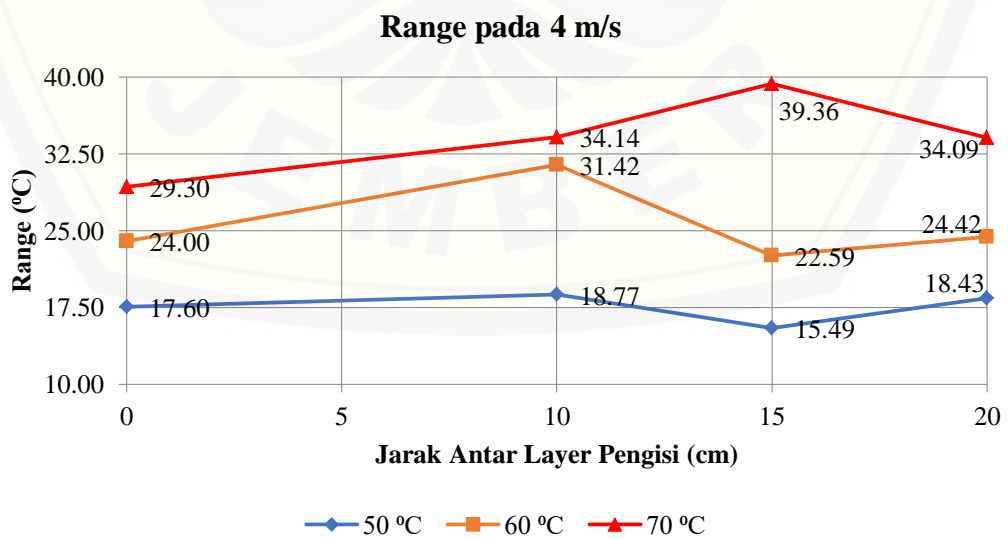
4.2.1 Range Temperatur

Range temperatur adalah perbedaan antara suhu air masuk dan suhu keluar *cooling tower*. Semakin tinggi *range* (*cooling tower*) berarti semakin tinggi

cooling tower dalam menurunkan suhu secara efektif. Adapun data *range* pada penelitian ini adalah sebagai berikut pada tabel 4.2:

Tabel 4.2 *Range*

Range (°C)									
Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)								
	4 m/s			6 m/s			8 m/s		
	Suhu Awal			Suhu Awal			Suhu Awal		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	17.6	24.0	29.3	17.9	25.5	31.8	17.9	28.0	32.8
10	18.7	31.4	34.1	19.7	31.6	37.4	19.9	27.8	38.7
15	15.4	22.5	39.3	15.2	23.4	33.3	16.3	24.4	33.0
20	18.4	24.4	34.0	18.7	24.1	35.7	19.8	26.3	36.7



Gambar 4.1 *Range* 4 m/s

Range pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 6,67%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,02%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,69%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 17,52%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 1,85%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 18,99%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 30,95%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 5,88%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,76%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 28,12%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 22,29%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,12%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 16,52%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 34,35%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 16,36%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 15,30%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,14%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 13,39%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C. Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C. Begitu juga dengan suhu 50°C dan 60°C.

Range tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 39,36°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 29,30°C pada variasi suhu 70°C. *Range* terendah dengan bahan pengisi

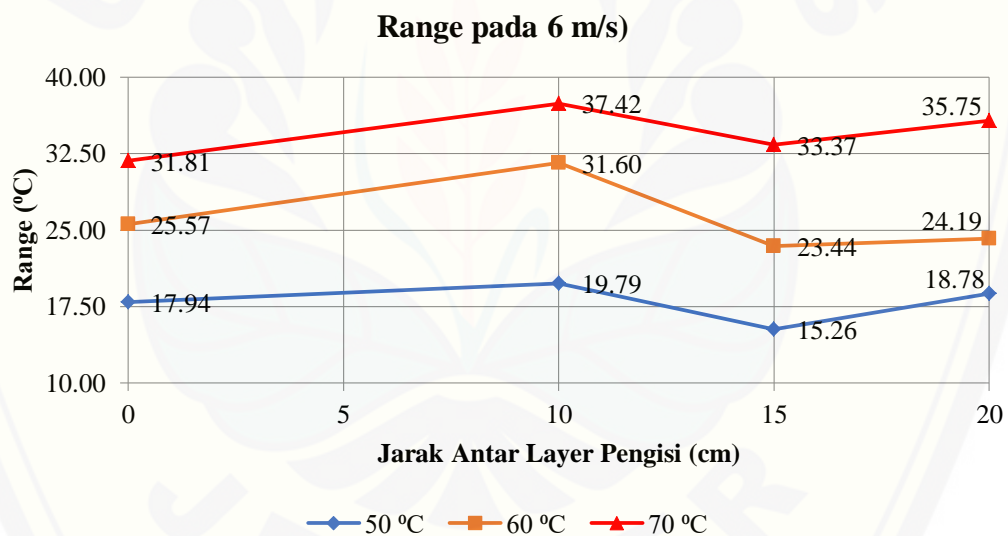
sebesar 15,49°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 17,60°C pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi kecepatannya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 24,13°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *range* tertinggi 29,99°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 10°C. Lalu penelitian peneliti di kecepatan 4 m/s didapatkan pada jarak antar *layer* 15 cm *range* tertingginya sebesar 39,36°C. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 15 cm, 25 cm, 20 cm, 30 cm. Semakin besar jarak antar *layer* maka nilai *range* nya mendekati tanpa *filler*, karena sudah tidak ada pengaruh jika jarak antar *layer* terlalu jauh.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin besar nilai *range*. Peningkatan ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih mudah menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara menjadi semakin cepat. Grafik *range* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 6°C. Sudirman (2017) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 35°C sebesar 5,1°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di suhu awal 70°C, 41°C, 35°C.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *range* akan

semakin besar dengan nilai suhu awal yang sama. Peningkatan ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 29,99°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 24,13°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.



Gambar 4.2 Range 6 m/s

Range pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 10,30%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 14,94%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,64%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 22,89%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,13%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 23,03%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan

23,56%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,36%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 5,40%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 25,83%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 23,44%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 3,22%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 17,64%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 4,89%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 12,39%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 10,84%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 4,46%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,15%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

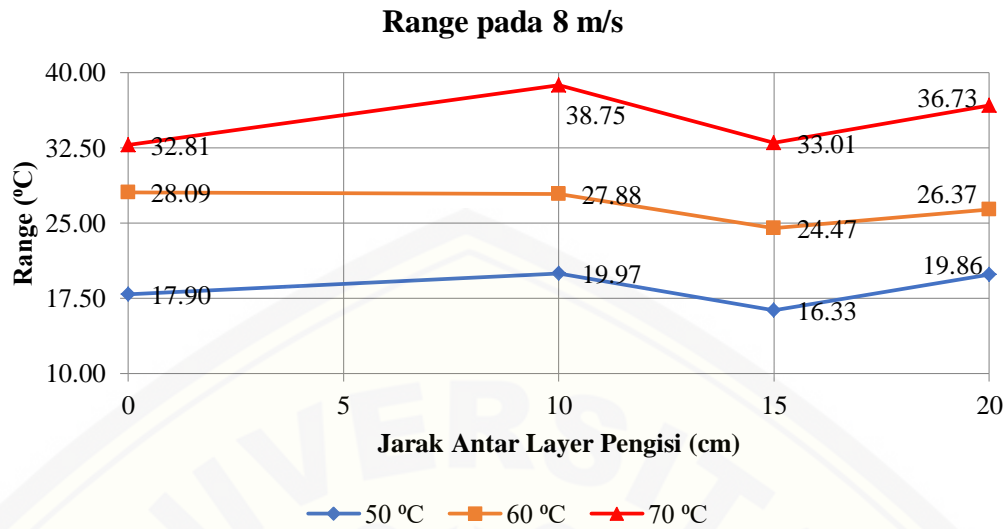
Range tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 37,42°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 31,81°C pada variasi suhu 70°C. *Range* terendah dengan bahan pengisi sebesar 15,26°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 17,94°C pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 24,13°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *range* tertinggi 29,99°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 10°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 10cm, 25cm, 20 cm, 30cm. Semakin besar jarak antar *layer* maka nilai *range* nya

mendekati tanpa *filler*, karena sudah tidak ada pengaruh jika jarak antar *layer* terlalu jauh.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin besar nilai *range*. Peningkatan ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih mudah menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara menjadi semakin cepat. Grafik *range* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 6°C. Sudirman (2017) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 35°C sebesar 5,1°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di suhu awal 70°C, 41°C, 35°C.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *range* akan semakin besar dengan nilai suhu awal yang sama. Peningkatan ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 29,99°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 24,13°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.



Gambar 4.3 Range 8 m/s

Range pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 11,59%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,73%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 10,99%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 18,21%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,54%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 21,61%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 0,74%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,86%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 6,12%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 12,21%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,42%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,73%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 18,12%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 0,61%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,97%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 14,82%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,21%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,29%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

Range tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 38,75°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 32,81°C pada variasi suhu 70°C. *Range* terendah dengan bahan pengisi sebesar 16,33°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 17,90°C pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 24,13°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *range* tertinggi 29,99°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *range* tertinggi yang diperoleh sebesar 10°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 10cm, 25cm, 20 cm, 30cm. Semakin besar jarak antar *layer* maka nilai *range* nya mendekati tanpa *filler*, karena sudah tidak ada pengaruh jika jarak antar *layer* terlalu jauh.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin besar nilai *range*. Peningkatan ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih mudah menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara menjadi semakin cepat. Grafik *range* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 6°C. Sudirman (2017) mendapatkan *range* tertinggi di suhu awal 35°C sebesar 5,1°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di suhu awal 70°C, 41°C, 35°C.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *range* akan semakin besar dengan nilai suhu awal yang sama. Peningkatan ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 23°C. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 29,99°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *range* tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 24,13°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *range* secara berurutan dari yang tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.

Dari kecepatan 4 m/s, 6 m/s, dan 8 m/s semakin tinggi suhu maka semakin besar nilai *range*, kecepatan udara keluar yang semakin tinggi maka akan semakin besar nilai *range* dengan suhu awal yang sama, dan semakin kecil jarak antar *layer* bahan pengisi *cooling tower* menjadikan udara yang berkontak dengan air semakin banyak sehingga menjadikan perpindahan panas air ke udara menjadi semakin banyak karena ukuran butiran air terpecah menjadikan luas permukaan butiran air menjadi lebih kecil. Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar air (T_2) maka semakin tinggi *cooling tower* dapat menurunkan suhu secara efektif.

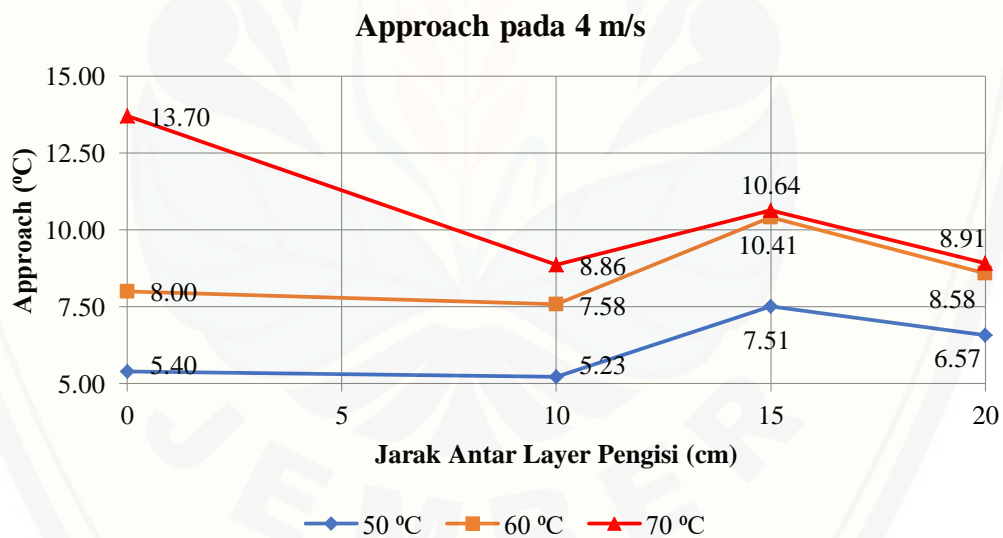
4.2.2 Approach Temperatur

Approach temperatur adalah perbedaan antara suhu air dingin keluar dan suhu bola basah pada *cooling tower*. Semakin rendah nilai *approach* maka kinerja *cooling tower* akan semakin baik. Adapun data *approach* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 *Approach*

Approach (°C)

Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)								
	4 m/s			6 m/s			8 m/s		
	Suhu Awal			Suhu Awal			Suhu Awal		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	5.40	8.00	13.70	5.06	8.43	11.19	5.10	6.91	10.19
10	5.23	7.58	8.86	5.21	8.40	10.58	5.03	6.12	9.25
15	7.51	10.41	10.64	7.74	9.56	10.63	6.67	8.53	9.99
20	6.57	8.58	8.91	6.22	7.81	9.25	5.14	6.63	7.27



Gambar 4.4 Approach 4 m/s

Approach pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami penurunan 3,22%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 39,16%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 21,74%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 43,80%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 25,80%, jarak 15 terhadap 20 mengalami

penurunan 12,52%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 5,32%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 30,12%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,22%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 37,44%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 13,25%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 17,60%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 35,32%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 22,35%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 34,97%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 20,06%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 0,54%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 16,25%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10, 15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C. Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C.

Approach tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 10,64°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 13,70°C pada variasi suhu 70°C. *Approach* terendah dengan bahan pengisi sebesar 5,23°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,40°C pada variasi suhu 50°C.

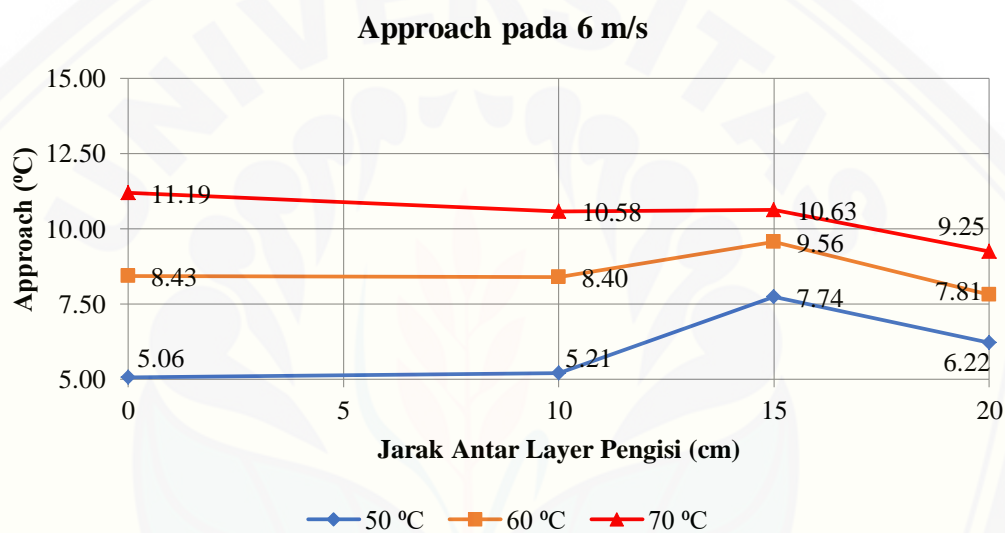
Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke

udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6,85°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *approach* terendah 9,01°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di jarak 10m, 30cm, 20 cm, 25cm. Dilihat dari data tersebut maka sulit untuk menentukan nilai *approach* yang terbaik terhadap jarak jika dibandingkan pada penelitian sebelumnya dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Semakin rendah suhu awal maka akan semakin rendah nilai *approach*. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin rendah maka air akan lebih lama menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara tidak secepat pada suhu awal yang tinggi. Grafik *approach* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 40°C sebesar 3,83°C. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 37,5°C sebesar 4,5°C. Sudirman (2017) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 35°C sebesar 5,2°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di suhu awal 40°C, 37,5°C, 35°C, 50°C. Perbedaan nilai *approach* ini dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *approach* akan semakin rendah dengan nilai suhu awal yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 10,34°C. Penelitian

Saputra (2020) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 9,01°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 6,85°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.



Gambar 4.5 *Approach* 6 m/s

Approach pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 3%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 53,04%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 23,08%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 48,58%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 19,49%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 19,58%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 0,31%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 13,49%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 7,34%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 13,84%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 7,05%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 18,36%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak

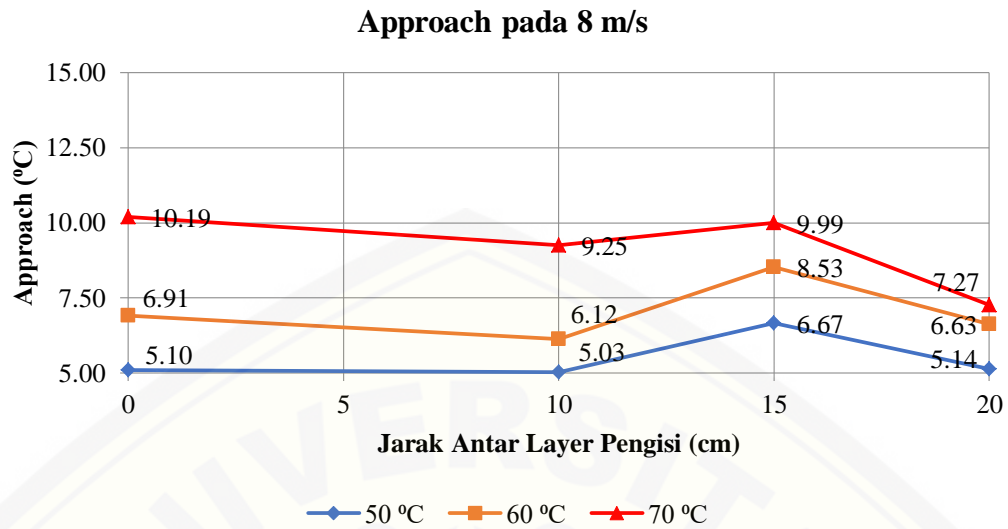
10 mengalami penurunan 5,46%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 4,97%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 17,35%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 0,53%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 12,57%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 13,03%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

Approach tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 10,63°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 11,19°C pada variasi suhu 70°C. *Approach* terendah dengan bahan pengisi sebesar 5,21°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,06°C pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6,85°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *approach* terendah 9,01°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di jarak 10m, 30cm, 20 cm, 25cm. Dilihat dari data tersebut maka sulit untuk menentukan nilai *approach* yang terbaik terhadap jarak jika dibandingkan pada penelitian sebelumnya dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Semakin rendah suhu awal maka akan semakin rendah nilai *approach*. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin rendah maka air akan lebih lama menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara tidak secepat pada suhu awal yang tinggi. Grafik *approach* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 40°C sebesar 3,83°C. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 37,5°C sebesar 4,5°C. Sudirman (2017) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 35°C sebesar 5,2°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di suhu awal 40°C, 37,5°C, 35°C, 50°C. Perbedaan nilai *approach* ini dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *approach* akan semakin rendah dengan nilai suhu awal yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 10,34°C. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 9,01°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 6,85°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.



Gambar 4.6 Approach 8 m/s

Approach pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami penurunan 1,45%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 30,62%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 0,65%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 32,55%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 2,14%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 22,94%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 11,46%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 23,30%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 4,07%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 39,26%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,35%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 22,20%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 9,27%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 1,96%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 28,71%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 8,05%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 21,43%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 27,28%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

Approach tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 9,99°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 10,19°C pada variasi suhu 70°C. *Approach* terendah dengan bahan pengisi sebesar 5,03°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,10°C pada variasi suhu 50°C. Kenaikan nilai *approach* akibat dari kenaikan suhu awal yang semakin tinggi tetapi suhu bola basah pada udara masuk *cooling tower* relatif tetap. Semakin rendah nilai *Approach* maka akan semakin baik kinerja *cooling tower*.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6,85°C. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm *approach* terendah 9,01°C. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm *approach* terendah yang diperoleh sebesar 6°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di jarak 10m, 30cm, 20 cm, 25cm. Dilihat dari data tersebut maka sulit untuk menentukan nilai *approach* yang terbaik terhadap jarak jika dibandingkan pada penelitian sebelumnya dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Semakin rendah suhu awal maka akan semakin rendah nilai *approach*. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin rendah maka air akan lebih lama menguap, sehingga perpindahan panas antara air dan udara tidak secepat pada suhu awal yang tinggi. Grafik *approach* pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 40°C sebesar 3,83°C. Penelitian Mulyono (2010)

mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 37,5°C sebesar 4,5°C. Sudirman (2017) mendapatkan *approach* terendah di suhu awal 35°C sebesar 5,2°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di suhu awal 40°C, 37,5°C, 35°C, 50°C. Perbedaan nilai *approach* ini dikarenakan suhu pada setiap lingkungan penelitian berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai *approach* akan semakin rendah dengan nilai suhu awal yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 10,34°C. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 9,01°C. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan *approach* terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 50°C sebesar 6,85°C. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai *approach* secara berurutan dari yang terendah di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s, 4,8 m/s, 2,25 m/s.

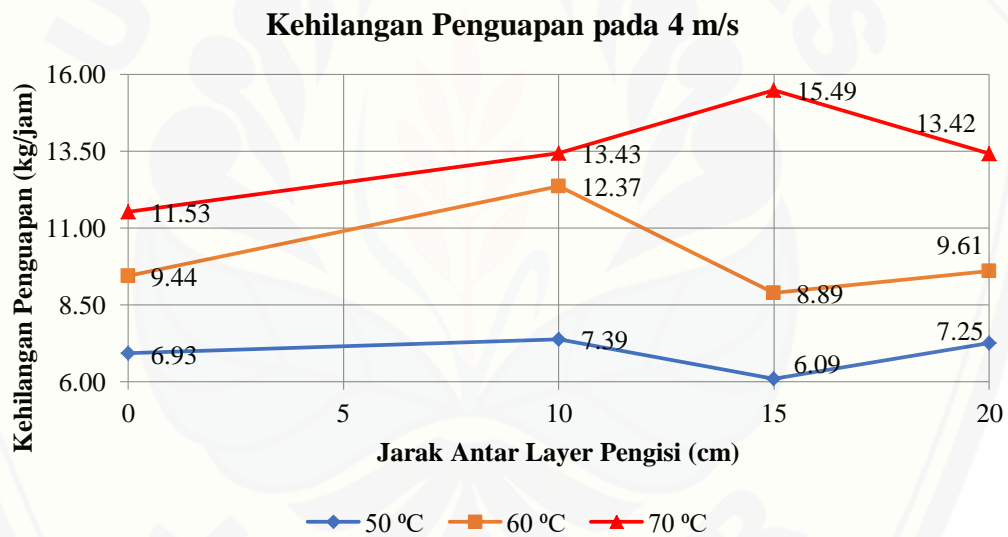
4.2.3 Kehilangan Penguapan

Kehilangan penguapan adalah jumlah air yang diuapkan pada saat proses pendinginan. Kehilangan penguapan merupakan salah satu parameter yang sangat penting. Adapun data kehilangan penguapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Kehilangan Penguapan

Kehilangan Penguapan (kg/jam)			
Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)		
	4 m/s	6 m/s	8 m/s
	Suhu Awal	Suhu Awal	Suhu Awal

	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	6.93	9.44	11.5 3	7.06	10.0 6	12.5 2	7.04	11.0 5	12.9 1
10	7.39	12.3 7	13.4 3	7.79	12.4 4	14.7 3	7.86	10.9 7	15.2 5
15	6.09	8.89	15.4 9	6.01	9.22	13.1 3	6.43	9.63	12.9 9
20	7.25	9.61	13.4 2	7.39	9.52	14.0 7	7.82	10.3 8	14.4 6



Gambar 4.7 Kehilangan Penguapan 4 m/s

Kehilangan penguapan pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 6,67%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,02%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,69%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 17,52%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 1,85%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 18,99%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 30,95%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 5,88%,

jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,76%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 28,12%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 22,29%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,12%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 16,52%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 34,35%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 16,36%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 15,30%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,14%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 13,39%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C. Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C.

Kehilangan penguapan tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 15,49 kg/jam pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 11,53 kg/jam pada variasi suhu 70°C. Kehilangan penguapan terendah dengan bahan pengisi sebesar 6,09 kg/jam pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 6,93 kg/jam pada variasi suhu 50°C.

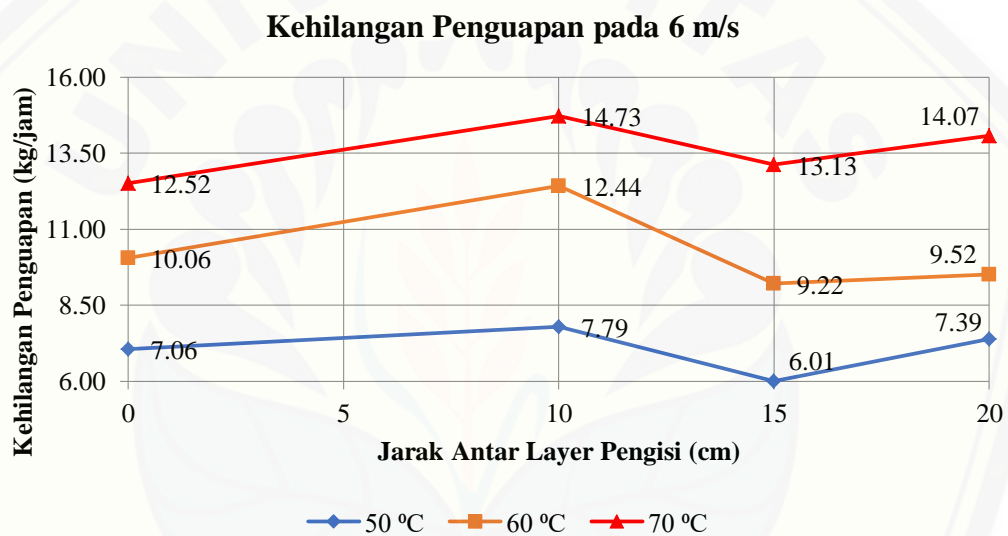
Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer*

pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Semakin tinggi nilai *range* maka semakin tinggi nilai kehilangan penguapan, dikarenakan semakin kecil butiran air maka semakin besar kemungkinan air mudah menguap sehingga perpindahan panas dari air ke udara mempengaruhi kehilangan penguapan. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm kehilangan penguapan tertinggi yang diperoleh sebesar 96,3 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm kehilangan penguapan tertinggi 9,69 kg/jam. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm kehilangan penguapan tertinggi 4,32 kg/jam. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai kehilangan penguapan secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 10m, 20cm, 25 cm, 30cm. Terdapat perbedaan yang sangat jauh pada penelitian sudrajat (2015) dikarenakan perbedaan debit air. Debit air mempengaruhi nilai kehilangan penguapan.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin tinggi nilai kehilangan penguapan. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih cepat menguap. Grafik kehilangan penguapan pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 238140 kg/jam. Joshi (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 37,2°C sebesar 11495 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara penelitian sebelumnya ini dikarenakan perbedaan debit air pada setiap peneliti berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai kehilangan penguapan akan semakin tinggi dengan nilai suhu awal dan debit air yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan

tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 9,69 kg/jam. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 96,3 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara peneliti sebelumnya dikarenakan debit yang digunakan juga berbeda.



Gambar 4.8 Kehilangan Penguapan 6 m/s

Kehilangan penguapan pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 10,30%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 14,94%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,64%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 22,89%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,13%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 23,03%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 23,56%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,36%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 5,40%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 25,83%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 23,44%, jarak 15

terhadap 20 mengalami kenaikan 3,22%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 17,64%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 4,89%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 12,39%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 10,84%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 4,46%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,15%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

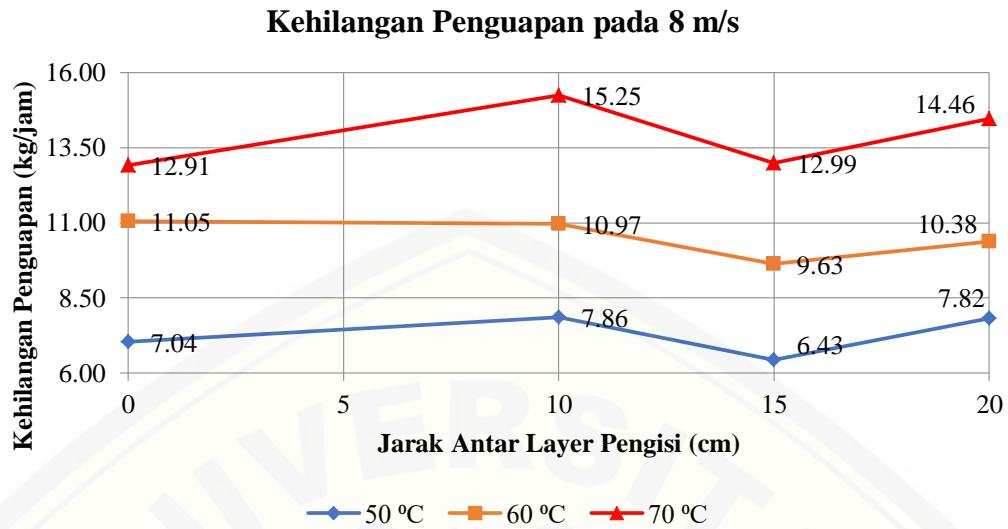
Kehilangan penguapan tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 14,73 kg/jam pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 12,52 kg/jam pada variasi suhu 70°C. Kehilangan penguapan terendah dengan bahan pengisi sebesar 6,01 kg/jam pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 7,06 kg/jam pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Semakin tinggi nilai *range* maka semakin tinggi nilai kehilangan penguapan, dikarenakan semakin kecil butiran air maka semakin besar kemungkinan air mudah menguap sehingga perpindahan panas dari air ke udara mempengaruhi kehilangan penguapan. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm kehilangan penguapan tertinggi yang diperoleh sebesar 96,3 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm kehilangan penguapan tertinggi 9,69 kg/jam. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm kehilangan penguapan tertinggi 4,32 kg/jam. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan

bahwa nilai kehilangan penguapan secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 10m, 20cm, 25 cm, 30cm. Terdapat perbedaan yang sangat jauh pada penelitian sudrajat (2015) dikarenakan perbedaan debit air. Debit air mempengaruhi nilai kehilangan penguapan.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin tinggi nilai kehilangan penguapan. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih cepat menguap. Grafik kehilangan penguapan pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian Mulyono (2010) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 238140 kg/jam. Joshi (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 37,2°C sebesar 11495 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara penelitian sebelumnya ini dikarenakan perbedaan debit air pada setiap peneliti berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai kehilangan penguapan akan semakin tinggi dengan nilai suhu awal dan debit air yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 9,69 kg/jam. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 96,3 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara peneliti sebelumnya dikarenakan debit yang digunakan juga berbeda.



Gambar 4.9 Kehilangan Penguapan 8 m/s

Kehilangan penguapan pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 11,59%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,73%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 10,99%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 18,21%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,54%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 21,61%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 0,74%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,86%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 6,12%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 12,21%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,42%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,73%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 18,12%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 0,61%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,97%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 14,82%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,21%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,29%. Grafik tersebut menampilkan data yang fluktuatif, dikarenakan parameter yang digunakan sedikit yaitu jarak 10,15, dan 20, sehingga kurang menjelaskan perbedaan yang akurat. Peneliti melengkapi kekurangan tersebut dengan membandingkan beberapa penelitian sebelumnya dengan jarak yang berbeda dari peneliti.

Kehilangan penguapan tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 15,25 kg/jam pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 12,91 kg/jam pada variasi suhu 70°C. Kehilangan penguapan terendah dengan bahan pengisi sebesar 6,43 kg/jam pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 7,04 kg/jam pada variasi suhu 50°C.

Semakin kecil jarak antar *layer* maka semakin kecil suhu keluar T_2 karena semakin kecil air yang terpecah maka akan semakin cepat perpindahan panas dari air ke udara. Pengaruh luas butiran air pada saat perpindahan panas konveksi dari air ke udara mempengaruhi cepatnya perpindahan panas konveksi dari air ke udara. Sedangkan semakin besar jarak antar *layer* air yang terpecah pada *layer* pertama akan menyatu kembali sebelum jatuh pada *layer* kedua dan ketiga, yang menyebabkan perpindahan panas air ke udara menjadi tidak maksimal karena ukuran butiran air yang tetap besar dan sama seperti tanpa bahan pengisi. Semakin tinggi nilai *range* maka semakin tinggi nilai kehilangan penguapan, dikarenakan semakin kecil butiran air maka semakin besar kemungkinan air mudah menguap sehingga perpindahan panas dari air ke udara mempengaruhi kehilangan penguapan. Penelitian Sudrajat (2015) pada jarak antar *layer* 20 cm kehilangan penguapan tertinggi yang diperoleh sebesar 96,3 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) pada jarak antar *layer* 25 cm kehilangan penguapan tertinggi 9,69 kg/jam. Penelitian Ahmed (2017) pada jarak antar *layer* 30 cm kehilangan penguapan tertinggi 4,32 kg/jam. Dari ketiga penelitian sebelumnya tersebut didapatkan bahwa nilai kehilangan penguapan secara berurutan dari yang tertinggi di jarak 10m, 20cm, 25 cm, 30cm. Terdapat perbedaan yang sangat jauh pada penelitian sudrajat (2015) dikarenakan perbedaan debit air. Debit air mempengaruhi nilai kehilangan penguapan.

Semakin tinggi suhu awal maka akan semakin tinggi nilai kehilangan penguapan. Hal ini disebabkan pada suhu yang semakin tinggi maka air akan lebih cepat menguap. Grafik kehilangan penguapan pada penelitian ini sesuai seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian

Mulyono (2010) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 41°C sebesar 238140 kg/jam. Joshi (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di suhu awal 37,2°C sebesar 11495 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara penelitian sebelumnya ini dikarenakan perbedaan debit air pada setiap peneliti berbeda.

Kecepatan udara keluar *cooling tower* dipengaruhi oleh kecepatan kipas, semakin tinggi kecepatan udara keluar *cooling tower* maka nilai kehilangan penguapan akan semakin tinggi dengan nilai suhu awal dan debit air yang sama. Hal ini disebabkan pada kecepatan udara yang tinggi maka akan semakin mudah air menguap ke udara, dengan demikian maka semakin cepat suhu yang hilang dari air ke udara. Penelitian Hidayat (2014) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 2,25 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 19 kg/jam. Penelitian Saputra (2020) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 4,8 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 9,69 kg/jam. Penelitian Sudrajat (2015) mendapatkan kehilangan penguapan tertinggi di kecepatan udara keluar *cooling tower* 7,78 m/s pada suhu awal 70°C sebesar 96,3 kg/jam. Perbedaan nilai kehilangan penguapan yang cukup signifikan antara peneliti sebelumnya dikarenakan debit yang digunakan juga berbeda.

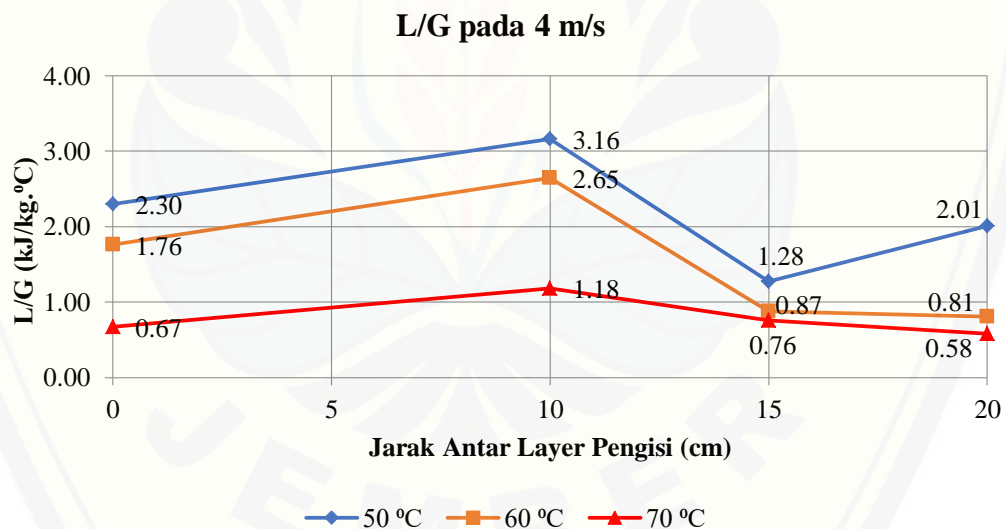
Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 memperlihatkan bahwa kehilangan penguapan mengalami kenaikan ketika nilai suhu awal lebih tinggi. Penambahan suhu awal air pada *cooling tower* mengakibatkan bertambahnya atau semakin tingginya nilai perbedaan temperatur atau *range* sehingga nilai kehilangan penguapan akan menjadi lebih cepat.

4.2.4 Liquid/Gas (L/G)

Perbandingan L/G pada *cooling tower* adalah perbandingan antara laju aliran massa air dan gas. Nilai L/G yang mendekati 1 atau sama dengan 1 dikatakan baik karena antara *liquid* dan gas sama. Adapun data L/G pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 L/G

L/G (kJ/kg.°C)									
Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)								
	4 m/s			6 m/s			8 m/s		
	Suhu Awal			Suhu Awal			Suhu Awal		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	2.30	1.76	0.67	1.10	1.51	0.62	1.10	2.02	1.23
10	3.16	2.65	1.18	1.87	1.45	0.87	1.85	1.39	1.28
15	1.28	0.87	0.76	1.29	0.84	1.16	1.21	2.53	1.88
20	2.01	0.81	0,58	1.97	0.85	1.03	1.86	2.35	2.20



Gambar 4.10 L/G 4 m/s

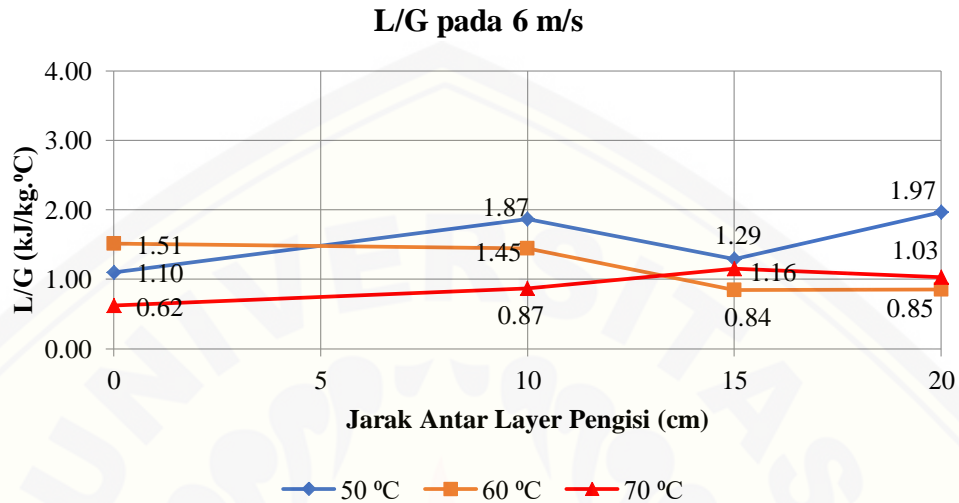
L/G pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 37,65%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 44,64%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 12,58%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 59,65%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 36,49%, jarak 15 terhadap 20 mengalami

kenaikan 57,40%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 50,20%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 50,34%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 54,11%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 66,94%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 69,45%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 7,59%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 75,41%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 12,26%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 14,24%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 36%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 51,11%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 23,61%. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C. Peneliti melebihi suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C.

L/G tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 3,16 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 2,30 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C. L/G terendah dengan bahan pengisi sebesar 0,58 kJ/kg.°C pada variasi suhu 70°C dan jarak 20, dan tanpa bahan pengisi terendah 0,67 kJ/kg.°C pada variasi suhu 70°C.

Nilai L/G tertinggi pada penelitian Hidayat (2014) sebesar 1,45 kJ/kg.°C pada suhu air masuk 70°C, terendah 0,46 kJ/kg.°C pada suhu awal 50 °C. Perbedaan nilai antara peneliti dengan penelitian Hidayat (2014) karena nilai entalpi dan *range* yang berbeda. Pada penelitian yang lain juga demikian, seperti penelitian Sudrajat (2015) tertinggi 5,31 kJ/kg.°C pada suhu awal 40°C dan terendah 1,20 kJ/kg.°C pada suhu awal 60°C. Mulyono (2010) tertinggi 1,47 kJ/kg.°C pada suhu awal 41°C dan terendah 1,40 kJ/kg.°C pada suhu awal 35,5°C.

Kong dkk (2018) tertinggi 1,7 kJ/kg.°C pada suhu awal 32°C dan terendah 0,56 kJ/kg.°C pada suhu awal 38°C.



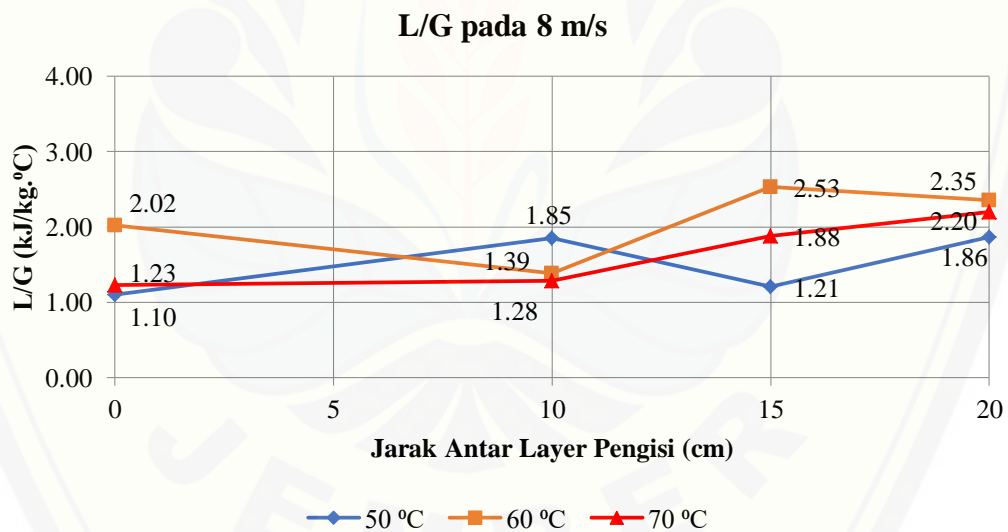
Gambar 4.11 L/G 6 m/s

L/G pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 69,73%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 17,57%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 78,91%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 30,73%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 5,40%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 52,17%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 4,38%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 44,33%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 43,58%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 41,78%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 40,99%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,35%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 39,51%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 86,06%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 66,21%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 33,36%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 19,14%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 10,67%.

L/G tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 1,97 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 20, dan tanpa bahan pengisi

tertinggi 1,51 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C. L/G terendah dengan bahan pengisi sebesar 0,84 kJ/kg.°C pada variasi suhu 60°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 0,62 kJ/kg.°C pada variasi suhu 70°C.

Nilai L/G tertinggi pada penelitian Hidayat (2014) sebesar 1,45 kJ/kg.°C pada suhu air masuk 70°C, terendah 0,46 kJ/kg.°C pada suhu awal 50 °C. Perbedaan nilai antara peneliti dengan penelitian Hidayat (2014) karena nilai entalpi dan *range* yang berbeda. Pada penelitian yang lain juga demikian, seperti penelitian Sudrajat (2015) tertinggi 5,31 kJ/kg.°C pada suhu awal 40°C dan terendah 1,20 kJ/kg.°C pada suhu awal 60°C. Mulyono (2010) tertinggi 1,47 kJ/kg.°C pada suhu awal 41°C dan terendah 1,40 kJ/kg.°C pada suhu awal 35,5°C. Kong dkk (2018) tertinggi 1,7 kJ/kg.°C pada suhu awal 32°C dan terendah 0,56 kJ/kg.°C pada suhu awal 38°C.



Gambar 4.12 L/G 8 m/s

L/G pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 67,78%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 9,52%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 68,61%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 34,72%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 0,50%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 53,95%.

Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 31,37%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 25,33%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 16,33%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 82,61%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 69,50%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 7,18%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 4,28%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 52,41%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 78,68%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 46,16%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 71,35%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 17,24%.

L/G tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 2,53 kJ/kg.°C pada variasi suhu 60°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 2,02 kJ/kg.°C pada variasi suhu 60°C. L/G terendah dengan bahan pengisi sebesar 1,21 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 1,10 kJ/kg.°C pada variasi suhu 50°C.

Kenaikan dan penurunan L/G dipengaruhi oleh perubahan entalpi, besar dan kecilnya perubahan entalpi dipengaruhi oleh suhu bola basah dan suhu bola kering. Nilai L/G terbaik 1,03 kJ/kg.°C pada variasi kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu awal 70°C dan jarak antar pengisi 20 dikarenakan nilai tersebut paling mendekati angka 1

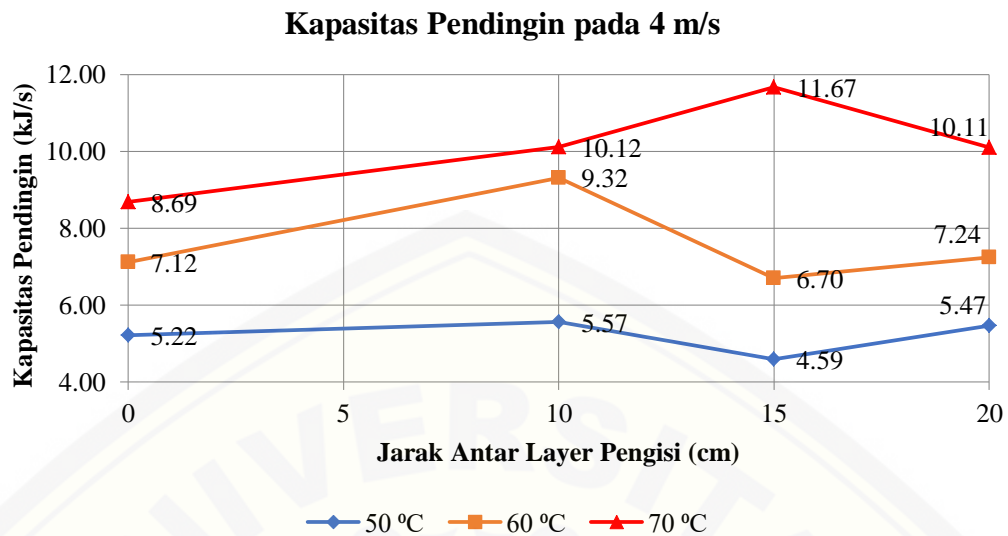
Nilai L/G tertinggi pada penelitian Hidayat (2014) sebesar 1,45 kJ/kg.°C pada suhu air masuk 70°C, terendah 0,46 kJ/kg.°C pada suhu awal 50 °C. Perbedaan nilai antara peneliti dengan penelitian Hidayat (2014) karena nilai entalpi dan *range* yang berbeda. Pada penelitian yang lain juga demikian, seperti penelitian Sudrajat (2015) tertinggi 5,31 kJ/kg.°C pada suhu awal 40°C dan terendah 1,20 kJ/kg.°C pada suhu awal 60°C. Mulyono (2010) tertinggi 1,47 kJ/kg.°C pada suhu awal 41°C dan terendah 1,40 kJ/kg.°C pada suhu awal 35,5°C. Kong dkk (2018) tertinggi 1,7 kJ/kg.°C pada suhu awal 32°C dan terendah 0,56 kJ/kg.°C pada suhu awal 38°C.

4.2.5 Kapasitas Pendingin

Kapasitas pendingin adalah panas yang dibuang dalam kKal/jam atau kJ/s sebagai hasil dari kecepatan aliran massa air, panas spesifik dan perbedaan temperatur. Kapasitas pendingin pada *cooling tower* merupakan kemampuan *cooling tower* dalam membuang panas ke lingkungan. Adapun data kapasitas pendingin pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Kapasitas Pendingin

KAPASITAS PENDINGIN (kJ/s)									
Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)								
	4 m/s			6 m/s			8 m/s		
	Suhu Awal			Suhu Awal			Suhu Awal		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	5.22	7.12	8.69	5.32	7.59	9.44	5.31	8.33	9.73
10	5.57	9.32	10.12	5.87	9.37	11.10	5.92	8.27	11.49
15	4.59	6.70	11.67	4.53	6.95	9.90	4.84	7.26	9.79
20	5.47	7.24	10.11	5.57	7.18	10.60	5.89	7.82	10.90



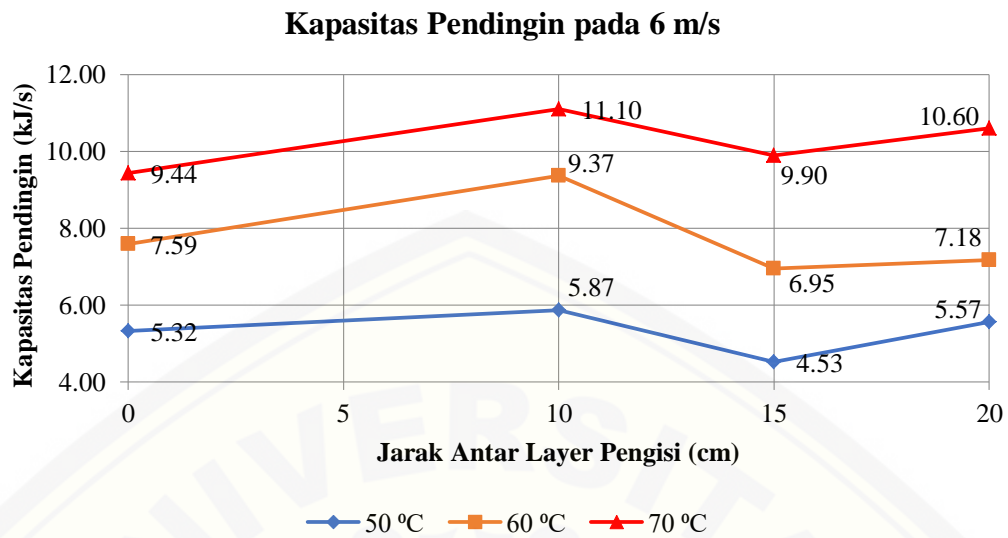
Gambar 4.13 Kapasitas Pendingin 4 m/s

Kapasitas pendingin pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 6,67%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,02%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,69%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 17,52%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 1,85%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 18,99%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 30,95%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 5,88%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,76%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 28,12%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 22,29%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,12%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 16,52%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 34,35%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 16,36%, jarak 10 terhadap 15 mengalami kenaikan 15,30%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,14%, jarak 15 terhadap 20 mengalami penurunan 13,39%. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang

mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C . Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C .

Kapasitas pendingin tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 11,67 kJ/s pada variasi suhu 70°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 8,69 kJ/s pada variasi suhu 70°C . Kapasitas pendingin terendah dengan bahan pengisi sebesar 4,59 kJ/s pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,22 kJ/s pada variasi suhu 50°C .

Kapasitas tertinggi 11,67 kJ/s pada variasi kecepatan 4 m/s suhu awal 70°C dan jarak 15, kemampuan membuang panas ke lingkungan pada *cooling tower* dipengaruhi oleh perbandingan suhu air masuk dan keluar dan debit air. Setiap kenaikan *range* dan debit maka akan mengakibatkan naiknya nilai kapasitas pendingin. Pada penelitian peneliti debit air dibuat tetap. Pada penelitian sebelumnya juga demikian, seperti pada penelitian Hidayat (2014) kapasitas pendingin tertinggi 41,44 kJ/s pada suhu awal 70°C . Sudrajat (2015) kapasitas pendingin tertinggi 14,49 kJ/s pada suhu awal 60°C . Mulyono (2010) kapasitas pendingin tertinggi 1663,03 kJ/s pada suhu awal $31,5^\circ\text{C}$. Tingginya nilai tersebut karena debit air sebesar $0,0667 \text{ m}^3/\text{s}$ atau 66,49 kg/s. Yulianto (2013) kapasitas pendingin tertinggi 1,33 kJ/s pada suhu awal 40°C .



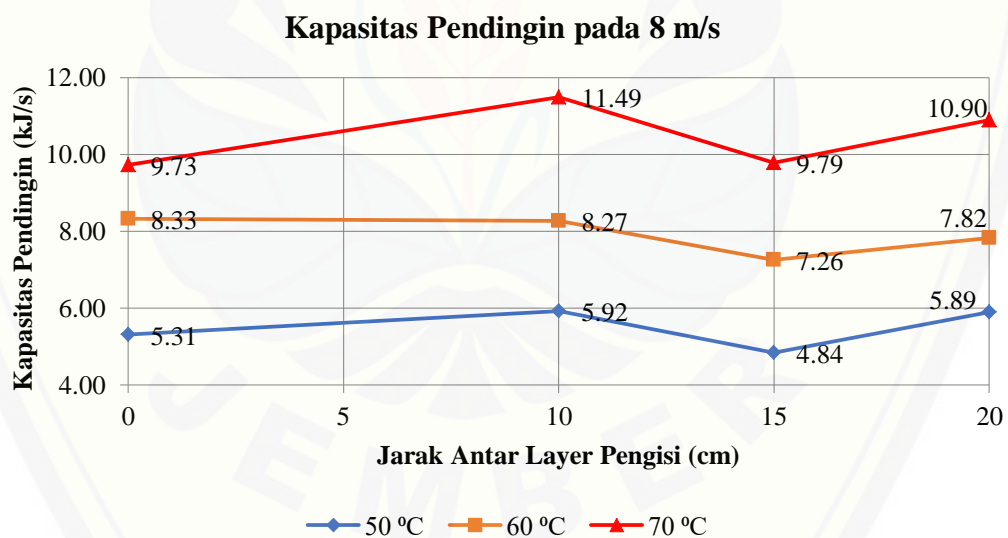
Gambar 4.14 Kapasitas Pendingin 6 m/s

Kapasitas pendingin pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 10,30%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 14,94%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,64%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 22,89%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,13%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 23,03%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 23,56%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,36%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 5,40%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 25,83%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 23,44%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 3,22%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 17,64%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 4,89%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 12,39%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 15,84%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 4,46%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,15%.

Kapasitas pendingin tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 11,10 kJ/s pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 9,44 kJ/s pada variasi suhu 70°C. Kapasitas pendingin terendah

dengan bahan pengisi sebesar 4,53 kJ/s pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,32 kJ/s pada variasi suhu 50°C.

Kapasitas tertinggi 11,10 kJ/s pada variasi kecepatan 6 m/s suhu awal 70°C dan jarak 10, kemampuan membuang panas ke lingkungan pada *cooling tower* dipengaruhi oleh perbandingan suhu air masuk dan keluar dan debit air. Setiap kenaikan *range* dan debit maka akan mengakibatkan naiknya nilai kapasitas pendingin. Pada penelitian peneliti debit air dibuat tetap. Pada penelitian sebelumnya juga demikian, seperti pada penelitian Hidayat (2014) kapasitas pendingin tertinggi 41,44 kJ/s pada suhu awal 70°C. Sudrajat (2015) kapasitas pendingin tertinggi 14,49 kJ/s pada suhu awal 60°C. Mulyono (2010) kapasitas pendingin tertinggi 1663,03 kJ/s pada suhu awal 31,5°C. Tingginya nilai tersebut karena debit air sebesar 0,0667 m³/s atau 66,49 kg/s. Yulianto (2013) kapasitas pendingin tertinggi 1,33 kJ/s pada suhu awal 40°C.



Gambar 4.15 Kapasitas Pendingin 8 m/s

Kapasitas pendingin pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 11,59%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 8,73%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 10,99%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 18,21%,

jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,54%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 21,61%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami penurunan 0,74%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 12,86%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 6,12%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 12,21%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,42%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,73%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 18,12%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 0,61%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,97%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 14,82%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 5,21%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,29%.

Kapasitas pendingin tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 11,49 kJ/s pada variasi suhu 70°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 9,73 kJ/s pada variasi suhu 70°C. Kapasitas pendingin terendah dengan bahan pengisi sebesar 4,84 kJ/s pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 5,31 kJ/s pada variasi suhu 50°C.

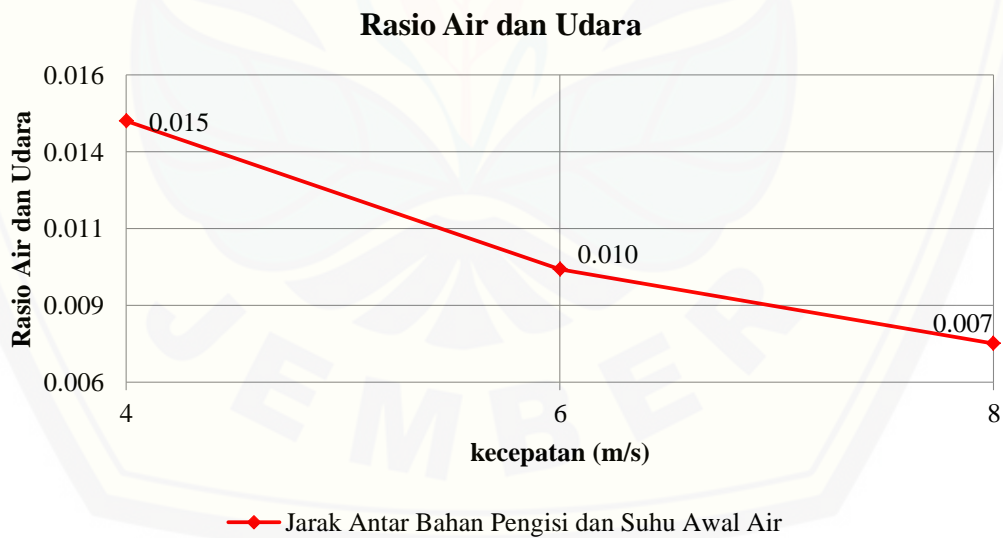
Kapasitas tertinggi 11,49 kJ/s pada variasi kecepatan 8 m/s suhu awal 70°C dan jarak 10, kemampuan membuang panas ke lingkungan pada *cooling tower* dipengaruhi oleh perbandingan suhu air masuk dan keluar dan debit air. Setiap kenaikan *range* dan debit maka akan mengakibatkan naiknya nilai kapasitas pendingin. Pada penelitian peneliti debit air dibuat tetap. Pada penelitian sebelumnya juga demikian, seperti pada penelitian Hidayat (2014) kapasitas pendingin tertinggi 41,44 kJ/s pada suhu awal 70°C. Sudrajat (2015) kapasitas pendingin tertinggi 14,49 kJ/s pada suhu awal 60°C. Mulyono (2010) kapasitas pendingin tertinggi 1663,03 kJ/s pada suhu awal 31,5°C. Tingginya nilai tersebut karena debit air sebesar 0,0667 m³/s atau 66,49 kg/s. Yulianto (2013) kapasitas pendingin tertinggi 1,33 kJ/s pada suhu awal 40°C.

4.2.6 Rasio Air dan Udara

Perbandingan antara debit air spesifik terhadap debit udara spesifik merupakan rasio air dan udara. Adapun data rasio air dan udara pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Rasio Air dan Udara

Rasio air dan Udara												
Kecepatan Udara Keluar (m/s)	Suhu Awal Air											
	50 °C				60 °C				70 °C			
	Jarak Antar Bahan Pengisi (cm)				Jarak Antar Bahan Pengisi (cm)				Jarak Antar Bahan Pengisi (cm)			
	0	10	15	20	0	10	15	20	0	10	15	20
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07	07



Gambar 4.16 Rasio Air dan Udara

Rasio air dan udara pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s terhadap 6 m/s mengalami penurunan 33,33%, kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s terhadap 8 m/s mengalami penurunan 50%, kecepatan udara keluar

cooling tower 6 m/s terhadap 8 m/s mengalami penurunan 25%. Rasio air dan udara tertinggi pada kecepatan 4 m/s sebesar 0,015 terendah pada kecepatan 8 m/s sebesar 0,007. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C . Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C .

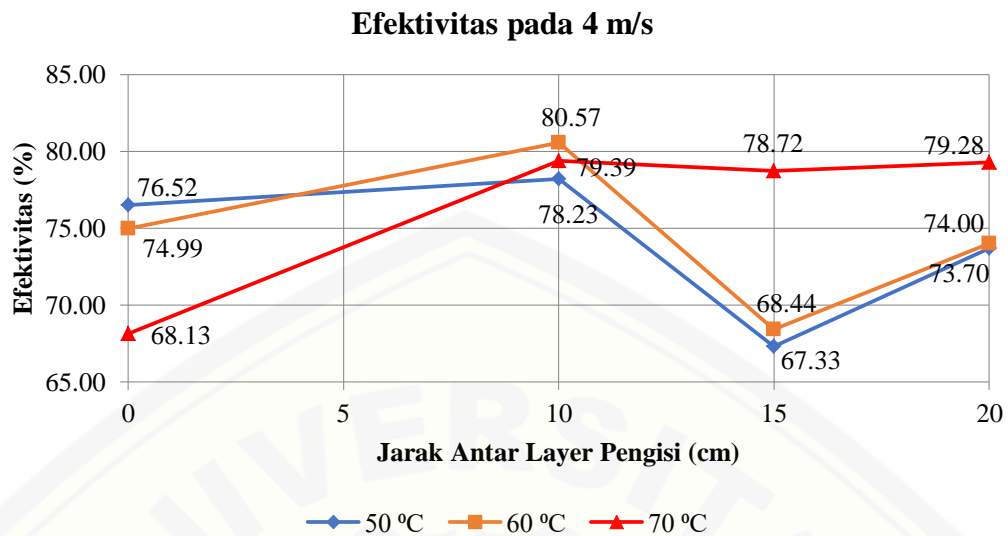
Hasil pada penelitian ini sesuai dengan penelitian terdahulu, Hidayat dkk (2014). Hasil penelitian ini mendapatkan nilai debit air spesifik 8,92 l/menit, 9,13 l/menit, 9,13 l/menit, 9,34 l/menit dan debit udara spesifik 3,8 m/menit, 3,05 m/menit, 3,75 m/menit, 2,75 m/menit. Rasio air dan udara didapat 2,35 l/menit, 2,99 l/menit, 2,43 l/menit, 3,4 l/menit. Rasio air dan udara dipengaruhi oleh Perbandingan debit air spesifik dan debit udara spesifik. Rasio air dan udara Hidayat (2014) tertinggi 3,36. Sudrajat (2015) tertinggi 2,75. Nilai rasio air dan udara merupakan perbandingan antara debit air spesifik terhadap debit udara spesifik, sehingga perubahan layer tidak akan mempengaruhi nilai rasio air dan udara. Pada gambar 4.16 menunjukkan perbandingan antara air dan udara yang relatif tetap dengan setiap perubahan atau variasi suhu awal air yang masuk ke dalam *cooling tower*. Nilai rasio air dan udara disebabkan oleh pengaruh variasi kecepatan udara pada *cooling tower*, sedangkan debit air tetap. Semakin cepat udara pada *cooling tower* maka nilai rasio air dan udara akan semakin rendah/kecil, perbedaan temperatur suhu awal tidak mempengaruhi rasio air dan udara. Nilai rasio tertinggi terjadi pada variasi kecepatan udara 4 m/s yaitu 0,015. Nilai rasio terendah terjadi pada variasi kecepatan udara 8 m/s yaitu 0,007.

4.2.7 Efektivitas

Efektivitas merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan temperatur antara suhu air masuk dan suhu *wet bulb ambient* (T_{wb2}), atau $range / (range + approach)$. Nilai perbandingan antara *range* dan *range* ideal yang semakin tinggi maka semakin tinggi nilai efektivitas dari *cooling tower*.

Tabel 4.8 Efektivitas

EFEKTIVITAS (%)									
Jarak antar bahan pengisi (cm)	kecepatan (m/s)								
	4 m/s			6 m/s			8 m/s		
	Suhu Awal			Suhu Awal			Suhu Awal		
	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0 (tanpa pengisi)	76.5	74.9	68.1	78.0	75.2	73.9	77.8	80.2	76.3
	2	9	3	2	2	8	1	4	0
10	78.2	80.5	79.3	79.1	79.0	77.9	79.8	81.9	80.7
	3	7	9	7	0	6	8	9	3
15	67.3	68.4	78.7	66.3	71.0	75.8	71.0	74.1	76.7
	3	4	2	6	2	3	1	6	6
20	73.7	74.0	79.2	75.1	75.6	79.4	79.4	79.9	83.4
	0	0	8	1	0	5	5	0	8



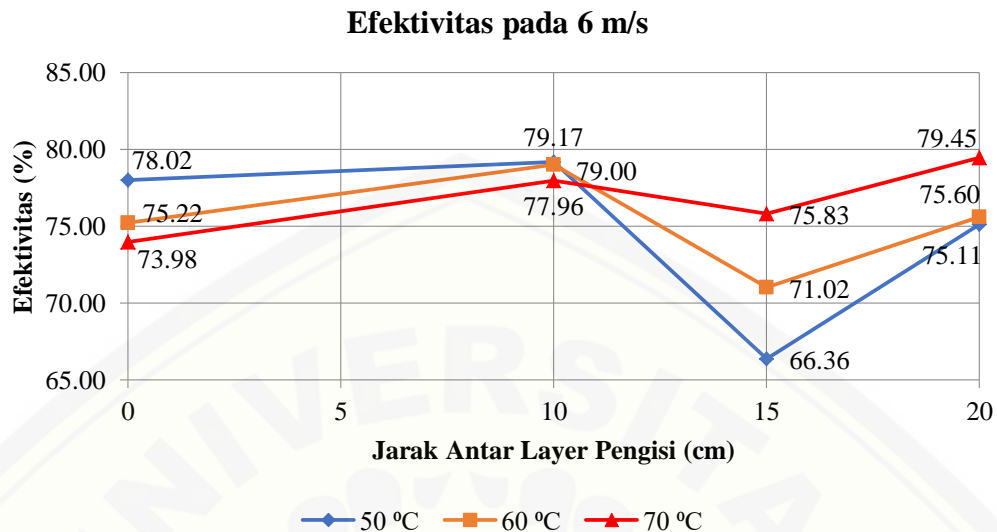
Gambar 4.17 Efektivitas 4 m/s

Efektivitas pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 1,70%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 9,19%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 2,82%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 10,90%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 4,52%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 6,38%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 5,58%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 6,55%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 0,99%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 12,13%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 6,57%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 5,56%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 11,26%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 10,59%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 11,15%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 0,67%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,11%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 0,56%. Faktor *human eror* pada saat pengambilan data mempengaruhi nilai, pada saat pengukuran suhu *wet bulb* dan *dry bulb* hanya 1 titik pengukuran dan juga alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu tersebut menggunakan termometer raksa yang dibalut dengan kain kasa basah sehingga nilai suhu yang didapat kurang akurat. Faktor lainnya yang

mempengaruhi pada saat pengambilan data adalah endapan yang mempengaruhi keluarnya air dari *noozle*, sehingga harus selalu diperhatikan jika aliran air yang keluar dari *noozle* berkurang. Suhu air T_1 yang diambil adalah suhu air yang tidak murni 70°C . Peneliti melebihkan suhu T_1 tersebut supaya suhu yang keluar pada *noozle* tidak kurang dari 70°C .

Efektivitas tertinggi pada kecepatan 4 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 80,57% pada variasi suhu 60°C dan jarak 10, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 76,52% pada variasi suhu 50°C . Efektivitas terendah dengan bahan pengisi sebesar 67,33% pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 68,13% pada variasi suhu 50°C .

Efektivitas tertinggi 80,57% pada variasi kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s suhu awal 60°C dan jarak 10. Efektivitas terendah 67,33% pada jarak 15 suhu awal 50°C dan kecepatan udara 4 m/s. Nilai *range* dan *approach* dipengaruhi oleh T_1 , T_2 , T_{wb1} . Semakin tinggi nilai *range* maka kemampuan *cooling tower* dalam menurunkan suhu semakin efektif, semakin rendah *approach* maka kinerja *cooling tower* akan semakin baik. Penelitian Hidayat (2014) tertinggi 68,08% pada suhu awal 40°C . Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Sudrajat (2015) tertinggi 78,11% pada suhu awal 40°C . Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Mulyono (2010) tertinggi 57,1% pada suhu awal $37,5^{\circ}\text{C}$. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Kabir (2020) tertinggi 71,19% pada suhu awal $40,5^{\circ}\text{C}$. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Fahrudin dkk (2018) tertinggi 38,77% pada suhu awal 40°C . Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Ramkrishnan dan Arumugam (2014) tertinggi 74,38%. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Handoyo (2015) tertinggi 60% pada suhu awal $39,9^{\circ}\text{C}$. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Joshi (2020) tertinggi 46,34% pada suhu awal $37,2^{\circ}\text{C}$. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah.



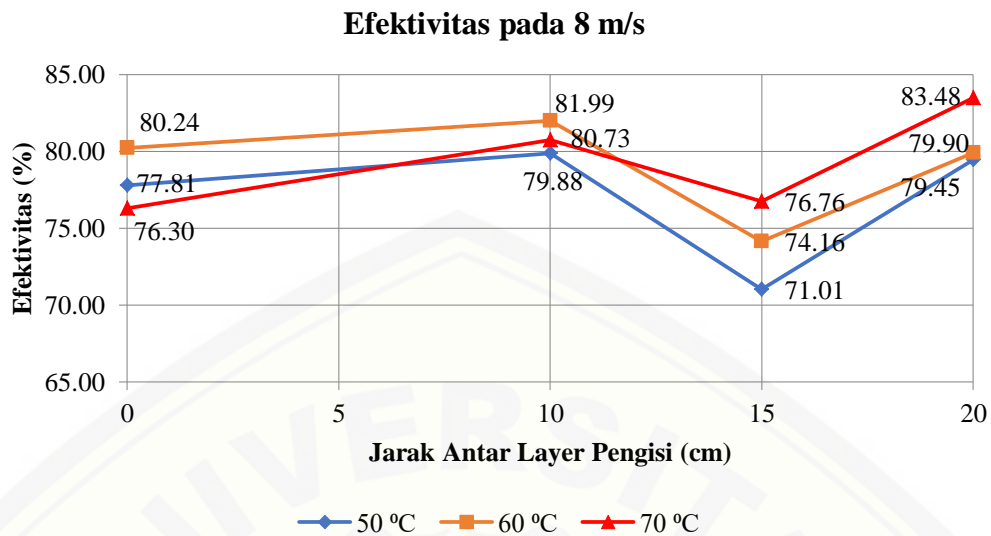
Gambar 4.18 Efektivitas 6 m/s

Efektivitas pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 1,15%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 11,66%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 2,91%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 12,81%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 4,06%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,75%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 3,78%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 4,20%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 0,38%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 7,98%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 3,40%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 4,58%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 3,98%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 1,85%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 5,47%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 2,13%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,49%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 3,62%.

Efektivitas tertinggi pada kecepatan 6 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 79,45% pada variasi suhu 70°C dan jarak 20, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 78,02% pada variasi suhu 50°C. Efektivitas terendah dengan bahan

pengisi sebesar 66,36% pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 73,98% pada variasi suhu 70°C.

Efektivitas tertinggi 79,45% pada variasi kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s suhu awal 70°C dan jarak 20. Efektivitas terendah 66,36% pada jarak 15 suhu awal 50°C dan kecepatan udara 6 m/s. Nilai *range* dan *approach* dipengaruhi oleh T_1 , T_2 , T_{wb1} . Semakin tinggi nilai *range* maka kemampuan *cooling tower* dalam menurunkan suhu semakin efektif, semakin rendah *approach* maka kinerja *cooling tower* akan semakin baik. Penelitian Hidayat (2014) tertinggi 68,08% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Sudrajat (2015) tertinggi 78,11% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Mulyono (2010) tertinggi 57,1% pada suhu awal 37,5°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Kabir (2020) tertinggi 71,19% pada suhu awal 40,5°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Fahrudin dkk (2018) tertinggi 38,77% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Ramkrishnan dan Arumugam (2014) tertinggi 74,38%. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Handoyo (2015) tertinggi 60% pada suhu awal 39,9 °C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Joshi (2020) tertinggi 46,34% pada suhu awal 37,2 °C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah.



Gambar 4.19 Efektivitas 8 m/s

Efektivitas pada kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu 50°C jarak 0 atau tanpa bahan pengisi terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 2,07%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 6,80%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 1,64%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 8,87%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 0,43%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 8,44%. Pada suhu 60°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 1,75%, jarak 0 terhadap 15 mengalami penurunan 6,08%, jarak 0 terhadap 20 mengalami penurunan 0,34%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 7,83%, jarak 10 terhadap 20 mengalami penurunan 2,09%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 5,74%. Pada suhu 70°C jarak 0 terhadap jarak 10 mengalami kenaikan 4,44%, jarak 0 terhadap 15 mengalami kenaikan 0,47%, jarak 0 terhadap 20 mengalami kenaikan 7,19%, jarak 10 terhadap 15 mengalami penurunan 3,97%, jarak 10 terhadap 20 mengalami kenaikan 2,75%, jarak 15 terhadap 20 mengalami kenaikan 6,72%.

Efektivitas tertinggi pada kecepatan 8 m/s dengan bahan pengisi keramik sebesar 83,48% pada variasi suhu 70°C dan jarak 20, dan tanpa bahan pengisi tertinggi 80,24% pada variasi suhu 60°C. Efektivitas terendah dengan bahan

pengisi sebesar 71,01% pada variasi suhu 50°C dan jarak 15, dan tanpa bahan pengisi terendah 76,30% pada variasi suhu 70°C.

Efektivitas tertinggi 83,48% pada variasi kecepatan udara keluar *cooling tower* 8 m/s suhu awal 70°C dan jarak 20. Efektivitas terendah 71,01% pada jarak 15 suhu awal 50°C dan kecepatan udara 8 m/s. Nilai *range* dan *approach* dipengaruhi oleh T_1 , T_2 , T_{wb1} . Semakin tinggi nilai *range* maka kemampuan *cooling tower* dalam menurunkan suhu semakin efektif, semakin rendah *approach* maka kinerja *cooling tower* akan semakin baik. Penelitian Hidayat (2014) tertinggi 68,08% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Sudrajat (2015) tertinggi 78,11% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Mulyono (2010) tertinggi 57,1% pada suhu awal 37,5°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Kabir (2020) tertinggi 71,19% pada suhu awal 40,5°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Fahrudin dkk (2018) tertinggi 38,77% pada suhu awal 40°C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Ramkrishnan dan Arumugam (2014) tertinggi 74,38%. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Handoyo (2015) tertinggi 60% pada suhu awal 39,9 °C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah. Joshi (2020) tertinggi 46,34% pada suhu awal 37,2 °C. Perbedaan nilai efektivitas ini dipengaruhi oleh *range* yang tinggi dan *approach* yang rendah.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. *Range* yang semakin besar nilainya dan *approach* yang semakin kecil nilainya menyebabkan meningkatnya efektivitas pada *cooling tower*. Nilai tersebut dipengaruhi oleh jarak antar layer, suhu awal, dan kecepatan udara keluar. Efektivitas tertinggi di jarak antar layer 20 cm kecepatan udara keluar 8 m/s dan suhu awal 70°C sebesar 83,48%.
- b. Semakin rendah nilai kecepatan udara keluar *cooling tower* maka akan semakin tinggi nilai rasio air dan udara, dan sebaliknya semakin tinggi nilai kecepatan udara keluar *cooling tower* maka akan semakin rendah nilai rasio air dan udaranya. Nilai rasio air dan udara tertinggi pada kecepatan udara keluar 4 m/s sebesar 0,015 kg/m².s
- c. Semakin tinggi nilai *Range* maka nilai kapasitas pendingin *cooling tower* akan semakin tinggi/naik. Nilai Kapasitas pendingin tertinggi di suhu awal 70°C jarak 15 kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s sebesar 11,67 Kj/s
- d. Kehilangan penguapan mengalami kenaikan ketika nilai *range* semakin tinggi/naik. Kehilangan penguapan tertinggi di suhu 70°C jarak antar layer 15 cm kecepatan udara keluar *cooling tower* 4 m/s
- e. Variasi jarak antar layer, suhu awal air, dan kecepatan kipas mempengaruhi L/G sehingga grafik mengalami penurunan dan kenaikan. Hal ini dipengaruhi oleh perubahan entalpi Δh dan *range*. Nilai L/G yang paling mendekati 1 atau sama dengan 1 di suhu awal 70 °C Jarak antar layer 20cm kecepatan udara keluar *cooling tower* 6 m/s sebesar 1,03 kj/kg. °C

5.2 Saran

Penelitian tentang analisis performa kinerja *cooling tower induced draft counterflow* menggunakan bahan pengisi keramik telah selesai dilaksanakan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada analisis pengaruh suhu awal, kecepatan udara, jarak antar *layer* dan bahan pengisi dari *cooling tower*. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat memvariasikan komponen-komponen yang lebih banyak seperti variasi debit air, jarak antar bahan pengisi, dan jenis bahan pengisi yang digunakan.
- b. Variasi sudut pada bahan pengisi juga dapat dilakukan untuk mengetahui bahan pengisi dengan sudut yang lebih optimal.
- c. Variasi perubahan *noozle* juga dapat dilakukan supaya air dapat terdistribusi merata pada seluruh *cooling tower*.
- d. Hasil penelitian yang dilakukan ini merupakan data pendukung lanjutan yang dapat digunakan oleh pihak-pihak yang berkepentingan dalam pemilihan jenis *cooling tower* yang akan digunakan sebagai mesin pendingin fluida dan keramik sebagai bahan pengisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, T., Lifan, M. U., Moitry, M. S. 2017. Performance Analysis of a Locally Made Induced Draft Wet Counter Flow Cooling Tower. *BIAM Foundation*. 1(1): 1-11
- Barry, C. C., Norton, G. 2007. *Ceramic Materials Science and Engineering*. United States: Princeton University Press.
- Barsoum, M. W. 1997. *Fundamental of Ceramics*. New York: Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Bedekar, S. V., Nithiarasu, P., dan Seetharamu, K. N. 1998. Experimental Investigation of The Performance of a Counter-Flow Packed-Bed Mechanical Cooling Tower. *Energy*. 23(11): 943-947.
- Dewan Energi Nasional. 2019. *Indonesia Energy Outlook 2019*. September. Jakarta. DEN Jakarta.
- Dongyue Industry Co., Ltd. 2014. Cooling Tower Fill. https://www.sunkeyfrp.com/watertanks/cooling_tower_fill.html. [Diakses pada tanggal 1 November 2020].
- Fahrudin, A. R., Muslimin, M., Susilo, G. D., dan Akbar, A. 2018. *Experimental study effect of diameter and number of spray nozzle holes on counterflow cooling tower to improve cooling effectiveness. MATEC web of Conferences*. 197: 1-4.

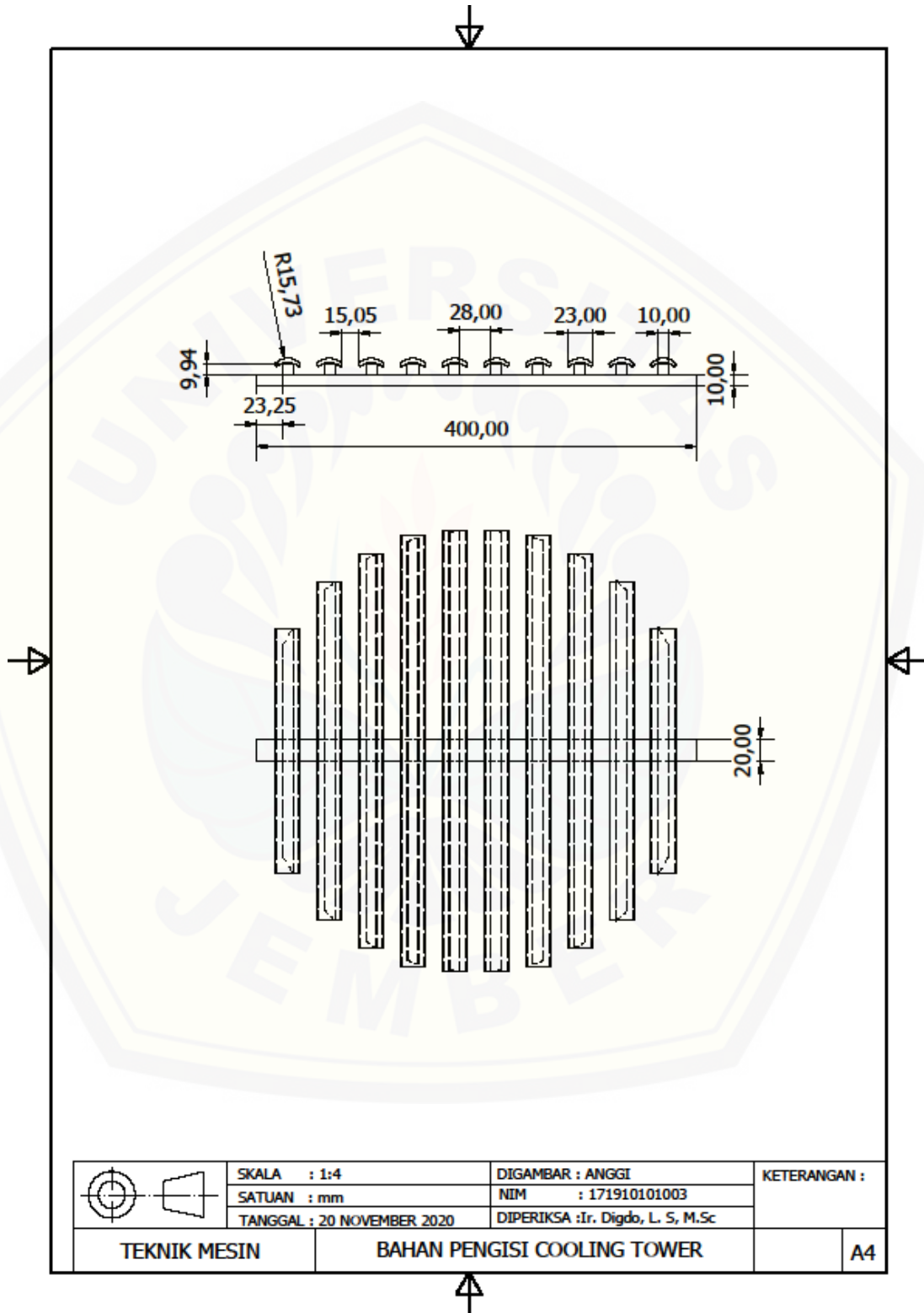
- Faizah, E. N. 2020. Analisis Performa Kinerja *Cooling Tower Induced Draft Counter Flow* Dengan Bahan Pengisi Alumunium *Semicircular Arc*. Skripsi. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Hakim, A. A. R., Sutrisno., Jatmiko, A. T. 2019. Review reactor operation safety on performance of cooling tower after 30 years operation. *Jurnal Batan*. 16(1): 1-21.
- Handoyo, Y. 2015. Analisis Performa Cooling Tower LCT 400 Pada PT XYZ Tambun Bekasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. 3(1): 38-52.
- Hidayat, A. T., Setyawan, D. L., dan Sutjahjono, H. 2014. Analisis beban kalor *cooling tower induced draft counter flow* dengan bahan pengisi bambu wulung. *Analisis Beban Kalor*. 1-5.
- Hill, G. B., Pring, E. J., Osborn, D. P. 1990. *Cooling Towers Principles and Practice*. 3rd ed. London: Butterworth-Heineman.
- Kabir, S. M. H., Dewanjee, S., dan Das, U. D. 2020. *Performance Enhancement of Induced Draft Counter Flow Wet Cooling Tower With Different Types of Modified Shaped Fill Assembly*. *Journal of Engineering Research and Reports*. 16(2): 41-53.
- Kong, Q. J., Zhao, X. Y., Xie, D. Q., Zhang, B., dan Wang, P. 2018. Experimental investigation of the heat and mass transfer phenomena in a counterflow wet cooling tower with foam ceramic packing. *Advances in Mechanical Engineering*. 10(1): 1-11
- Kristanta, A. 2012. Kalor. <https://arifkristanta.wordpress.com/2012/10/10/kalor>. [Diakses pada 1 November 2020].

- Mahmud, T., Islam K. M., dan Salam, B. 2013. EXPERIMENTAL STUDY OF FORCED DRAFT CROSS FLOW WET COOLING TOWER USING SPLASH TYPE FILL . ICMERE 2013. 1-5.
- Math Open Refrence. <https://www.mathopenref.com/semicircle.html>. [Diakses pada 1 November 2020].
- Mulyono. 2010. Analisis Beban Kalor Menara Pendingin Basah Induced-Draft Aliran Lawan Arah. *Jurnal Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang*. 5: 145-151.
- Novianarenti, E., dan Setyono, G. 2019. Peningkatan Performasi *Cooling Tower* Tipe *Induced Draft Counter Flow* Menggunakan Variasi Bentuk *Filler*. *Rekayasa Energi Manufaktur*. 4(1): 17-26.
- Patil, M. M., Patil, S. J., Patil, P. S., dan Mehta, S. J. 2018. Design and Analysis of Cooling Tower. *International Research Jurnal of Engineering and Technology(IRJET)*. 5(2): 2240-2245.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. 7 ed. New York: Graw Hill Book Company, Inc.
- Prasetya, D. D. 2016. Analisis Variasi Debit Air Dan Ketinggian Pengisi *Calciboard* Terhadap Efektifitas *Cooling Tower Forced Draft Counter Flow*. *Skripsi*. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Putra, R. S. 2015. ANALISIS PERHITUNGAN BEBAN COOLING TOWER PADA FLUIDA DI MESIN INJEKSI PLASTIK. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*. 4(2): 56-62.

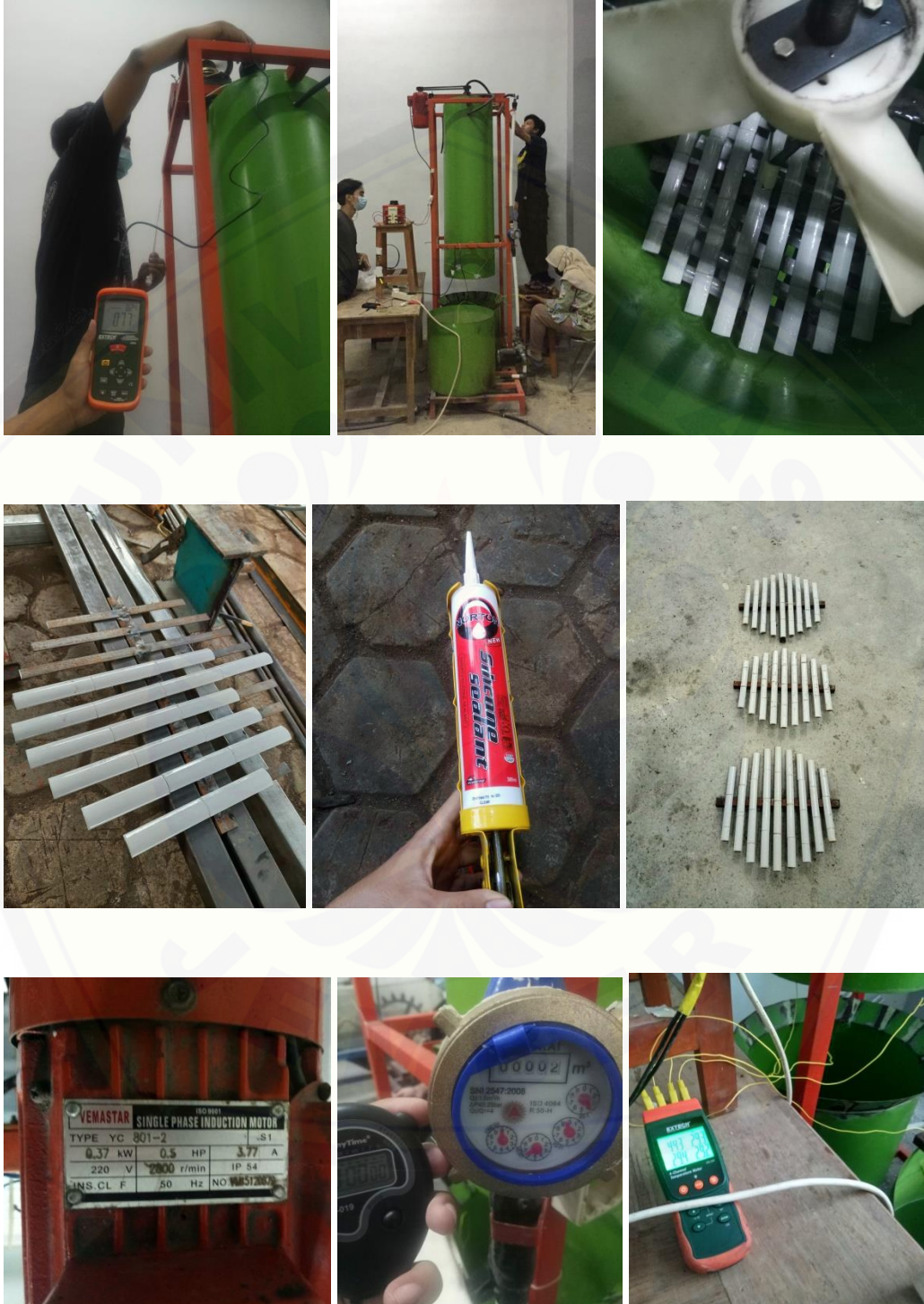
- Ramkrishnan, R., dan Arumugam, R. 2013. Experimental study of cooling tower performance using ceramic tile packing. *Processing and Application of Ceramic*. 7(1): 21-27.
- Ramakrishnan, R., dan Arumugam, R. 2014. *Experimental Study and Performance Analysis of Ceramic Packing Cooling Tower Using Taguchi Method*. *International Journal of Thermal & Environmental Engineering*. 8(1): 45-53.
- Saputra, R. A. 2020. ANALISIS PERFORMA KINERJA *COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTER FLOW* DENGAN BAHAN PENGISI ALUMUNIUM PIPIH. *Skripsi*. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Sara Cooling Tower. 2019. Cooling Tower Part. www.saracoolingtower.com [Diakses pada tanggal 1 November 2020].
- Sastrawan, I. K. G., dan Subagyo, R. 2020. Analisis Perpindahan Panas *Cooling Tower(Induced Draft)* PLTU 1 Pulang Pisau(2 x 60 MW). *Jurnal Tugas Akhir Mahasiswa Rotari*. 2(2): 35-46.
- Sidabutar, T. E. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Keramik Magnesium Alumina Silika Dari Abu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Teknik Mesin*. 06(1): 28-35.
- Singh, K., dan Das, R. 2016. An experimental and multi-objective optimization study of a forced draft cooling tower with different fills. *Energy Conversion and Management*. 1(11): 417-430.
- Sobirin, A. 2016. Analisis Variasi Kecepatan Fluida dan Jarak Pengisi Serat Ijuk Pada *Cooling Tower Forced Draft Counter Flow*. *Skripsi*. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.

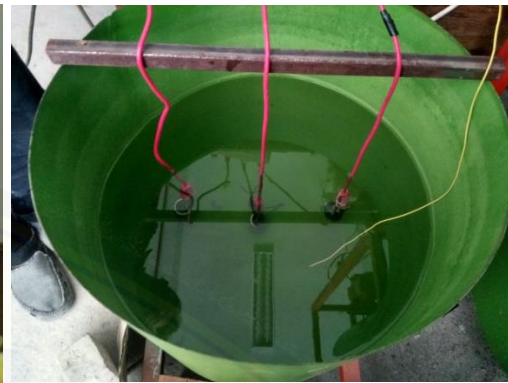
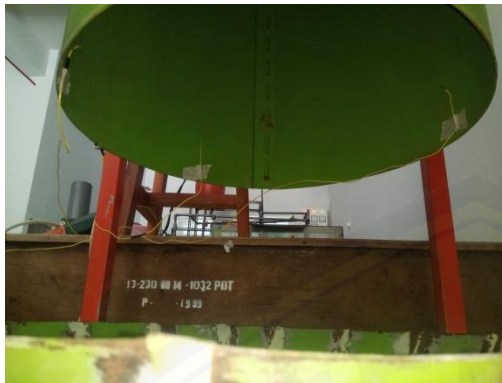
- Srivastav, K. M. 2015. Semicircle: A Case Study on Concept of Trigonometrical Ratios of Acute Angles. *International Journal of Mathematic Archive*. 3(4): 75-78.
- Stanford, H. W. 2012. HVAC Water Chillers and Cooling Towers Fundamental, Application, and Operation. 2nd ed. London: CRC Press.
- Stoecker, W. F., dan Jones, J. W. 2009. *Refrigasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan oleh Supratman Hara. Jakarta: Erlangga.
- Sudrajat, M. M. R. 2015. ANALISIS VARIASI TEGANGAN LISTRIK KIPAS *COOLING TOWER INDUCED DRAFT COUNTER FLOW* DENGAN PENGISI BAMBU WULUNG. *Skripsi*. Jember. Teknik Mesin Universitas Jember.
- Sudirman., dan Darmawa, I. P. 2017. *Influence of variation fluid flow towards the performance of cooling tower type induced draft counterflow cooling tower. Proceeding International Joint Conference on Science and Technology*. 55-60.
- Sularso, dan Tahara, H. 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Yulianto, S., Urbiantoro, A. 2013. PERANCANGAN *COOLING TOWER* UNTUK ALAT PENUKAR KALOR *SHELL AND TUBE* KAPASITAS SKALA LABORATORIUM. *Jurnal Sintek*. 7(1): 1-11

Lampiran 1. Gambar Bahan Pengisi *Tile* Keramik



Lampiran 2. Gambar Persiapan dan Pengambilan Data





Lampiran 3. Data Hasil Pengujian

Tanpa Bahan Pengisi, V= 4, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	29.6	40.8	28.2	32.867	27	29	31
2	30	50	29.3	42.6	28.2	33.367	27	29	31
3	60	50	29.2	41	27.7	32.633	27	29	31
4	90	50	29	41.9	28	32.967	27	29	31
5	120	50	29	36.7	27.8	31.167	27	29	31
6	150	50	29	39.5	27.8	32.100	27	29	31
7	180	50	29.1	38.4	27.6	31.700	27	29	31
8	210	50	29	39.9	27.7	32.200	27	29	31
9	240	50	29.2	40.6	28	32.600	27	29	31
RATA-RATA						32.400	27	29	31

Tanpa Bahan Pengisi, V= 6, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	28.2	39.4	27	31.533	27	28	31
2	30	50	28.4	37.7	27.1	31.067	27	28	31
3	60	50	28.3	40	28.9	32.400	27	28	31
4	90	50	28.2	42.9	29.4	33.500	27	28	31
5	120	50	28.4	39.5	28.2	32.033	27	28	31
6	150	50	28.4	39.6	28	32.000	27	28	31
7	180	50	28.4	38.9	27.7	31.667	27	28	31
8	210	50	28.5	39.6	28.1	32.067	27	28	31
9	240	50	28.3	37.7	30.7	32.233	27	28	31
RATA-RATA						32.056	27	28	31

Tanpa Bahan Pengisi, V= 8, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	28.1	37.9	29.8	31.933	27	28	30
2	30	50	27.8	41.4	31.3	33.500	27	28	30
3	60	50	27.8	41.8	30.7	33.433	27	28	30
4	90	50	27.9	39.8	30.7	32.800	27	28	30
5	120	50	27.9	30.3	31.2	29.800	27	28	30
6	150	50	27.8	39.9	30.9	32.867	27	28	30
7	180	50	27.5	37.8	29.8	31.700	27	28	30
8	210	50	27.7	36.8	30.5	31.667	27	28	30
9	240	50	27.7	35.9	30.1	31.233	27	28	30
RATA-RATA						32.104	27	28	30

Tanpa Bahan Pengisi, V= 4, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	30.2	41.5	37.1	36.267	28	30	32
2	30	60	30.5	41.3	37.6	36.467	28	30	32
3	60	60	29.1	41.6	37.3	36.000	28	30	32
4	90	60	29.6	40.5	36.7	35.600	28	30	32
5	120	60	29.3	41.2	36.5	35.667	28	30	32
6	150	60	30	41.2	37.2	36.133	28	30	32
7	180	60	29.1	41.4	36.9	35.800	28	30	32
8	210	60	28.7	41.6	36.8	35.700	28	30	32
9	240	60	29.9	41.8	37.5	36.400	28	30	32
RATA-RATA						36.004	28	30	32

Tanpa Bahan Pengisi, V= 6, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	29.6	40.6	35.5	35.233	26	28	29
2	30	60	29.2	39.8	35.2	34.733	26	28	29
3	60	60	28.5	39.1	34.6	34.067	26	28	29
4	90	60	28	40.2	34.5	34.233	26	28	29
5	120	60	28.3	40.4	34.6	34.433	26	28	29
6	150	60	28.6	40.2	34.3	34.367	26	28	29
7	180	60	28.7	39.5	33.6	33.933	26	28	29
8	210	60	28.4	40	34.4	34.267	26	28	29
9	240	60	28.4	40.3	35	34.567	26	28	29
RATA-RATA						34.426	26	28	29

Tanpa Bahan Pengisi, V= 8, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	27.6	38.7	33.4	33.233	25	28	31
2	30	60	28	38.5	31.6	32.700	25	28	31
3	60	60	27.7	39.2	32.4	33.100	25	28	31
4	90	60	27.7	37.9	32.6	32.733	25	28	31
5	120	60	27.7	38	32.8	32.833	25	28	31
6	150	60	27.6	38.1	32.4	32.700	25	28	31
7	180	60	27.5	38.1	31.9	32.500	25	28	31
8	210	60	27.3	31.6	28.7	29.200	25	28	31
9	240	60	27	29.6	28.1	28.233	25	28	31
RATA-RATA						31.915	25	28	31

Tanpa Bahan Pengisi, V= 4, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	31.1	50.9	38.9	40.300	27	28	30
2	30	70	31	51.7	39.2	40.633	27	28	30
3	60	70	30.7	51.8	38.5	40.333	27	28	30
4	90	70	30.8	52.1	38.5	40.467	27	28	30
5	120	70	30.8	51.6	38.8	40.400	27	28	30
6	150	70	31.4	50.6	40.2	40.733	27	28	30
7	180	70	31.3	52.1	40.3	41.233	27	28	30
8	210	70	32.1	51.7	40.2	41.333	27	28	30
9	240	70	31.4	52	39.3	40.900	27	28	30
RATA-RATA						40.704	27	28	30

Tanpa Bahan Pengisi, V= 6, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	28.2	48.6	35	37.267	27	28	29
2	30	70	28.7	49.4	34.8	37.633	27	28	29
3	60	70	29	49.8	36.2	38.333	27	28	29
4	90	70	28.8	49.7	35.9	38.133	27	28	29
5	120	70	29.2	50	36.3	38.500	27	28	29
6	150	70	29.5	50	35.8	38.433	27	28	29
7	180	70	29.8	50.5	36	38.767	27	28	29
8	210	70	29.2	50.4	35.1	38.233	27	28	29
9	240	70	29.3	50.1	35.8	38.400	27	28	29
RATA-RATA						38.189	27	28	29

Tanpa Bahan Pengisi, $V= 8$, $T= 70^{\circ}\text{C}$

NO	Waktu (s)	T1 $^{\circ}\text{C}$	T2 $^{\circ}\text{C}$			T2 (rata-rata) $^{\circ}\text{C}$	Twb1 ($^{\circ}\text{C}$)	Twb2 ($^{\circ}\text{C}$)	Tdb ($^{\circ}\text{C}$)
			A	B	C				
1	0	70	28.8	49.7	34.7	37.733	27	29	32
2	30	70	29	50.1	34.4	37.833	27	29	32
3	60	70	28.8	48.8	34	37.200	27	29	32
4	90	70	28.7	48.5	33.9	37.033	27	29	32
5	120	70	28.4	49.5	33.7	37.200	27	29	32
6	150	70	28.3	48.6	34.2	37.033	27	29	32
7	180	70	28.4	49.1	34.1	37.200	27	29	32
8	210	70	28.2	49.3	33	36.833	27	29	32
9	240	70	28.1	48.9	33	36.667	27	29	32
RATA-RATA						37.193	27	29	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, $V= 4$, $T= 50^{\circ}\text{C}$

NO	Waktu (s)	T1 $^{\circ}\text{C}$	T2 $^{\circ}\text{C}$			T2 (rata-rata) $^{\circ}\text{C}$	Twb1 ($^{\circ}\text{C}$)	Twb2 ($^{\circ}\text{C}$)	Tdb ($^{\circ}\text{C}$)
			A	B	C				
1	0	50	28.6	27.1	26.8	27.500	26	29	30
2	30	50	31.1	29.3	27	29.133	26	29	30
3	60	50	32.3	28.9	27	29.400	26	29	30
4	90	50	32.9	37.5	27.2	32.533	26	29	30
5	120	50	32.9	37.9	27.5	32.767	26	29	30
6	150	50	33.2	37.1	28.4	32.900	26	29	30
7	180	50	33.1	36.6	28.2	32.633	26	29	30
8	210	50	33.4	35.6	27.6	32.200	26	29	30
9	240	50	33.4	35	27.5	31.967	26	29	30
RATA-RATA						31.226	26	29	30

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 6, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	30.1	27.1	26.9	28.033	25	27	31
2	30	50	32.3	27.3	27.7	29.100	25	27	31
3	60	50	33.1	27.2	27.5	29.267	25	27	31
4	90	50	33.3	33.3	28.1	31.567	25	27	31
5	120	50	33.5	28.5	27.7	29.900	25	27	31
6	150	50	33.1	27.8	27.7	29.533	25	27	31
7	180	50	33.5	27.4	27.5	29.467	25	27	31
8	210	50	33.5	36.2	27.5	32.400	25	27	31
9	240	50	33.4	36	28.4	32.600	25	27	31
RATA-RATA						30.207	25	27	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 8, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	27.5	27.3	27.1	27.300	25	27	30
2	30	50	30.3	28.5	27.5	28.767	25	27	30
3	60	50	31.6	29.8	28.6	30.000	25	27	30
4	90	50	31.8	30.7	28.5	30.333	25	27	30
5	120	50	31.4	30.7	28.8	30.300	25	27	30
6	150	50	31.7	31.2	29.4	30.767	25	27	30
7	180	50	31.6	32.9	29	31.167	25	27	30
8	210	50	31.6	31.9	29.3	30.933	25	27	30
9	240	50	31.6	32.2	28.3	30.700	25	27	30
RATA-RATA						30.030	25	27	30

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 4, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	27	28.6	26.8	27.467	21	26	31
2	30	60	27.1	28.8	26.5	27.467	21	26	31
3	60	60	27.3	27.9	30.6	28.600	21	26	31
4	90	60	27.4	28.5	26.5	27.467	21	26	31
5	120	60	27.6	27.8	28.2	27.867	21	26	31
6	150	60	27.8	27.8	27.8	27.800	21	26	31
7	180	60	27.8	28.1	28.5	28.133	21	26	31
8	210	60	27.8	36.9	27.9	30.867	21	26	31
9	240	60	28	37.3	29.3	31.533	21	26	31
RATA-RATA						28.578	21	26	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 6, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	27.1	29.2	27.2	27.833	20	23	31
2	30	60	27.8	29.1	27.8	28.233	20	23	31
3	60	60	28.2	29.3	27.6	28.367	20	23	31
4	90	60	29	29.2	27.8	28.667	20	23	31
5	120	60	29.2	28.9	28	28.700	20	23	31
6	150	60	29.1	29.1	28	28.733	20	23	31
7	180	60	29.2	28.4	27.4	28.333	20	23	31
8	210	60	29.5	28.2	27.4	28.367	20	23	31
9	240	60	29.8	28.1	27.2	28.367	20	23	31
RATA-RATA						28.400	20	23	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 8, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	30.2	27.4	28.7	28.767	26	28	31
2	30	60	33.6	30.7	31.3	31.867	26	28	31
3	60	60	34.4	31.8	29.5	31.900	26	28	31
4	90	60	33.3	31.6	31.8	32.233	26	28	31
5	120	60	34	33.6	31.9	33.167	26	28	31
6	150	60	34.6	30.4	30.8	31.933	26	28	31
7	180	60	34.8	33.6	31.4	33.267	26	28	31
8	210	60	34.8	33.4	31.7	33.300	26	28	31
9	240	60	34.3	32.9	30.8	32.667	26	28	31
RATA-RATA						32.122	26	28	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 4, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	32.9	31.5	42.2	35.533	27	29	32
2	30	70	28.9	32.8	42.3	34.667	27	29	32
3	60	70	32	31.8	42.2	35.333	27	29	32
4	90	70	35.5	31.3	42.2	36.333	27	29	32
5	120	70	34.4	31.2	44.7	36.767	27	29	32
6	150	70	33.6	31.6	43.3	36.167	27	29	32
7	180	70	32.8	31.4	42.2	35.467	27	29	32
8	210	70	33.5	31.1	43.3	35.967	27	29	32
9	240	70	35	30.8	43.8	36.533	27	29	32
RATA-RATA						35.863	27	29	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 6, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	28	26.5	27.9	27.467	22	24	32
2	30	70	29.7	27.8	41.7	33.067	22	24	32
3	60	70	29.1	29.5	31	29.867	22	24	32
4	90	70	29.8	27.5	42.5	33.267	22	24	32
5	120	70	29.6	27.4	43	33.333	22	24	32
6	150	70	30	27.9	44.2	34.033	22	24	32
7	180	70	30.6	27.8	41.9	33.433	22	24	32
8	210	70	30.9	27.8	44.7	34.467	22	24	32
9	240	70	30.9	27.7	44.2	34.267	22	24	32
RATA-RATA						32.578	22	24	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 10, V= 8, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	26.4	27.4	30.9	28.233	22	25	32
2	30	70	28	30.7	33.2	30.633	22	25	32
3	60	70	27.8	28.6	37.3	31.233	22	25	32
4	90	70	29.1	28.4	38.5	32.000	22	25	32
5	120	70	28.9	27.8	39	31.900	22	25	32
6	150	70	29	28.8	37.8	31.867	22	25	32
7	180	70	28.4	28.7	37.5	31.533	22	25	32
8	210	70	28.3	28.7	37.9	31.633	22	25	32
9	240	70	29.3	29.3	38	32.200	22	25	32
RATA-RATA						31.248	22	25	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 4, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	26.3	27.5	27.6	27.133	27	28	32
2	30	50	36.6	29.2	35	33.600	27	28	32
3	60	50	39.3	30.6	33.5	34.467	27	28	32
4	90	50	39.1	33.1	34.1	35.433	27	28	32
5	120	50	38.8	33.6	34.8	35.733	27	28	32
6	150	50	39.4	33	36.5	36.300	27	28	32
7	180	50	38.9	32.2	35.5	35.533	27	28	32
8	210	50	41.6	31.9	35	36.167	27	28	32
9	240	50	40.5	32.9	35.4	36.267	27	28	32
RATA-RATA						34.515	27	28	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 6, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	38.3	33.6	34.1	35.333	27	28	31
2	30	50	37.1	33.1	32.3	34.167	27	28	31
3	60	50	37.5	32.8	34.1	34.800	27	28	31
4	90	50	37	32.7	33.5	34.400	27	28	31
5	120	50	36.8	32.9	34.4	34.700	27	28	31
6	150	50	37.1	33	34	34.700	27	28	31
7	180	50	35	33	34.7	34.233	27	28	31
8	210	50	37.1	33.1	35.1	35.100	27	28	31
9	240	50	37.7	33.2	34.7	35.200	27	28	31
RATA-RATA						34.737	27	28	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 8, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	37	33.3	33.8	34.700	27	28	31
2	30	50	34.1	33.1	33.4	33.533	27	28	31
3	60	50	39.8	32.9	32.4	35.033	27	28	31
4	90	50	35.7	32.9	32.9	33.833	27	28	31
5	120	50	35.3	32.7	33.2	33.733	27	28	31
6	150	50	34.1	32.5	33.3	33.300	27	28	31
7	180	50	32.6	32.2	32.9	32.567	27	28	31
8	210	50	32.7	32.5	33.5	32.900	27	28	31
9	240	50	33.8	33	33.4	33.400	27	28	31
RATA-RATA						33.667	27	28	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 4, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	29.1	28.6	30.8	29.500	27	28	32
2	30	60	37.8	29.9	37.5	35.067	27	28	32
3	60	60	40.4	32.3	40.7	37.800	27	28	32
4	90	60	41.9	32.9	41.5	38.767	27	28	32
5	120	60	40.2	33	41.1	38.100	27	28	32
6	150	60	42	32.5	39.7	38.067	27	28	32
7	180	60	42.4	35.1	43.9	40.467	27	28	32
8	210	60	41.8	35	41.3	39.367	27	28	32
9	240	60	41.9	35	41.9	39.600	27	28	32
RATA-RATA						37.415	27	28	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 6, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	40.8	34.3	37.3	37.467	27	28	33
2	30	60	38.4	33.7	38	36.700	27	28	33
3	60	60	38.3	33.1	37.7	36.367	27	28	33
4	90	60	38.5	33	38.2	36.567	27	28	33
5	120	60	38.7	33.6	37.8	36.700	27	28	33
6	150	60	38.2	34.1	36.6	36.300	27	28	33
7	180	60	38.7	34.1	38.1	36.967	27	28	33
8	210	60	36.2	33.5	39.3	36.333	27	28	33
9	240	60	37.3	33.6	36.1	35.667	27	28	33
RATA-RATA						36.563	27	28	33

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 8, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	36.3	33.6	35.7	35.200	27	30	33
2	30	60	36.3	34	35.4	35.233	27	30	33
3	60	60	35.9	34.4	37.1	35.800	27	30	33
4	90	60	35.9	34.1	35.9	35.300	27	30	33
5	120	60	35.6	34.1	36.2	35.300	27	30	33
6	150	60	36.3	33.6	39.8	36.567	27	30	33
7	180	60	35.8	33.6	36.5	35.300	27	30	33
8	210	60	36	33.6	36.6	35.400	27	30	33
9	240	60	35.9	34.1	36.9	35.633	27	30	33
RATA-RATA						35.526	27	30	33

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V=4, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	31.9	28.3	29.3	29.833	20	22	32
2	30	70	29.4	29.6	38.7	32.567	20	22	32
3	60	70	28.7	29.1	32.4	30.067	20	22	32
4	90	70	28.4	31.2	33.1	30.900	20	22	32
5	120	70	27.6	30.4	32.2	30.067	20	22	32
6	150	70	27.9	30	36.1	31.333	20	22	32
7	180	70	27.8	31.5	33.7	31.000	20	22	32
8	210	70	28.5	31.2	30.4	30.033	20	22	32
9	240	70	28.3	30.1	31.5	29.967	20	22	32
RATA-RATA						30.641	20	22	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 6, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	35.1	28.7	31.6	31.800	26	28	35
2	30	70	38.5	34.3	35.8	36.200	26	28	35
3	60	70	35.5	35.2	32.5	34.400	26	28	35
4	90	70	41.4	34.5	33.4	36.433	26	28	35
5	120	70	40.3	36.1	36.5	37.633	26	28	35
6	150	70	39.2	35.8	38.1	37.700	26	28	35
7	180	70	41.9	35.9	39	38.933	26	28	35
8	210	70	41	36.3	38.4	38.567	26	28	35
9	240	70	41.2	36.4	36.5	38.033	26	28	35
RATA-RATA						36.633	26	28	35

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 15, V= 8, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	35.9	30.3	33.9	33.367	27	30	34
2	30	70	39	37	36.8	37.600	27	30	34
3	60	70	39	38.1	35.2	37.433	27	30	34
4	90	70	38.5	37.4	35.1	37.000	27	30	34
5	120	70	37.2	37.7	35.4	36.767	27	30	34
6	150	70	37.8	37.9	36	37.233	27	30	34
7	180	70	38.7	37.8	35.5	37.333	27	30	34
8	210	70	38.7	37.7	35.6	37.333	27	30	34
9	240	70	38.5	37.7	40.4	38.867	27	30	34
RATA-RATA						36.993	27	30	34

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 4, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	27.5	26.4	27.4	27.100	25	27	31
2	30	50	32.5	27.5	31.8	30.600	25	27	31
3	60	50	33.7	27.6	32.5	31.267	25	27	31
4	90	50	34.4	28.3	32.4	31.700	25	27	31
5	120	50	34.5	29.7	33.2	32.467	25	27	31
6	150	50	35	30.4	33.4	32.933	25	27	31
7	180	50	34.9	29.7	33.1	32.567	25	27	31
8	210	50	34.2	30.9	32.7	32.600	25	27	31
9	240	50	34.9	30.8	33.1	32.933	25	27	31
RATA-RATA						31.574	25	27	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 6, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	34.2	30.6	32.4	32.400	25	27	31
2	30	50	32.7	29.6	31.2	31.167	25	27	31
3	60	50	32.6	29.3	31.4	31.100	25	27	31
4	90	50	32.5	29.6	31.3	31.133	25	27	31
5	120	50	32.8	29.3	31.8	31.300	25	27	31
6	150	50	32.7	29.2	31.7	31.200	25	27	31
7	180	50	32.5	29	31	30.833	25	27	31
8	210	50	32.5	28.8	31.1	30.800	25	27	31
9	240	50	32.9	29	31.3	31.067	25	27	31
RATA-RATA						31.222	25	27	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 8, T= 50°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	50	31.1	29.2	30.2	30.167	25	27	31
2	30	50	31.1	29.5	30.6	30.400	25	27	31
3	60	50	31	29.7	30.3	30.333	25	27	31
4	90	50	31.2	29.9	30.1	30.400	25	27	31
5	120	50	30.7	30.1	30.3	30.367	25	27	31
6	150	50	30.3	29.6	29.7	29.867	25	27	31
7	180	50	30.3	29.6	30	29.967	25	27	31
8	210	50	30.6	29.4	29.7	29.900	25	27	31
9	240	50	30.6	29.1	29.8	29.833	25	27	31
RATA-RATA						30.137	25	27	31

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 4, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	27.6	27.7	27.4	27.567	27	28	34
2	30	60	33.4	30.3	36.3	33.333	27	28	34
3	60	60	34.7	34	36.1	34.933	27	28	34
4	90	60	36.4	31.7	37.9	35.333	27	28	34
5	120	60	36.2	35.4	38.3	36.633	27	28	34
6	150	60	36.6	36.4	37.4	36.800	27	28	34
7	180	60	36.8	40	38.1	38.300	27	28	34
8	210	60	36	38.4	38.9	37.767	27	28	34
9	240	60	38.8	42.3	37.6	39.567	27	28	34
RATA-RATA						35.581	27	28	34

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 6, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	33.2	38.9	35.7	35.933	28	29	32
2	30	60	33.2	35	35.1	34.433	28	29	32
3	60	60	34.8	37.9	35	35.900	28	29	32
4	90	60	35.4	37.1	35.2	35.900	28	29	32
5	120	60	35.5	37.3	35.3	36.033	28	29	32
6	150	60	35.5	38.8	35.5	36.600	28	29	32
7	180	60	35.5	36.1	35.9	35.833	28	29	32
8	210	60	36.1	33.2	36.5	35.267	28	29	32
9	240	60	35.3	36.7	37.1	36.367	28	29	32
RATA-RATA						35.807	28	29	32

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 8, T= 60°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	60	34.7	37.1	34.3	35.367	27	30	33
2	30	60	33	35.7	33.2	33.967	27	30	33
3	60	60	32.3	35.3	33.4	33.667	27	30	33
4	90	60	32.2	33.6	33.7	33.167	27	30	33
5	120	60	32.4	33.6	33.7	33.233	27	30	33
6	150	60	32.5	33.7	34.5	33.567	27	30	33
7	180	60	33	33.5	33.4	33.300	27	30	33
8	210	60	32.4	32.8	34.1	33.100	27	30	33
9	240	60	32.3	33.4	34.3	33.333	27	30	33
RATA-RATA						33.633	27	30	33

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 4, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	30.7	29.2	34	31.300	27	28	35
2	30	70	36.5	31.2	40.2	35.967	27	28	35
3	60	70	44.9	34	40.2	39.700	27	28	35
4	90	70	33	32.1	39.9	35.000	27	28	35
5	120	70	39	33.7	39.7	37.467	27	28	35
6	150	70	33.1	32.7	40.4	35.400	27	28	35
7	180	70	36.4	31.4	40.7	36.167	27	28	35
8	210	70	36.3	31.2	42.5	36.667	27	28	35
9	240	70	33.5	32.5	40.6	35.533	27	28	35
RATA-RATA						35.911	27	28	35

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 6, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	32.9	31.6	37.2	33.900	25	27	34
2	30	70	35.9	31	37.7	34.867	25	27	34
3	60	70	33.2	32.7	37.6	34.500	25	27	34
4	90	70	32.5	30.8	36.9	33.400	25	27	34
5	120	70	32.4	31.6	37.8	33.933	25	27	34
6	150	70	30.9	32	37.6	33.500	25	27	34
7	180	70	35.9	30.7	36.8	34.467	25	27	34
8	210	70	34.3	31.4	37.5	34.400	25	27	34
9	240	70	33.7	33.4	38.7	35.267	25	27	34
RATA-RATA						34.248	25	27	34

Menggunakan Bahan Pengisi Jarak 20, V= 8, T= 70°C

NO	Waktu (s)	T1 °C	T2 °C			T2 (rata-rata)°C	Twb1(°C)	Twb2 (°C)	Tdb (°C)
			A	B	C				
1	0	70	31.9	31.4	37.2	33.500	26	30	34
2	30	70	33.2	32	35.7	33.633	26	30	34
3	60	70	32.1	31.3	36.7	33.367	26	30	34
4	90	70	32.6	30.9	36.5	33.333	26	30	34
5	120	70	31.7	31.5	36.6	33.267	26	30	34
6	150	70	31.6	31.9	36.9	33.467	26	30	34
7	180	70	31.3	29.7	35.8	32.267	26	30	34
8	210	70	32.2	31.8	36.4	33.467	26	30	34
9	240	70	31.8	31.5	36	33.100	26	30	34
RATA-RATA						33.267	26	30	34