

MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN PADA *PETROL*
ENGINE CM11



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

HADI SYAMSUDDIN	442 14 010
A.M. AYUB ALI	442 14 020

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018

MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN PADA *PETROL*
ENGINE CM11



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

HADI SYAMSUDDIN	442 14 010
A.M. AYUB ALI	442 14 020

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Modifikasi Sistem Pendingin pada *Petrol Engine* CM11 oleh Hadi Syamsuddin (442 14 010) dan A. M. Ayub Ali (442 14 020) telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1 Terapan (D4) pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 30 Agustus 2018

Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP : 19601231 199003 1 021

Pembimbing II



Abdul Rahman, S. T., M.T.
NIP. 19730803 200604 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi



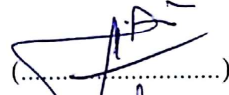



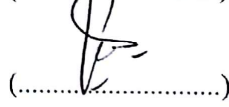
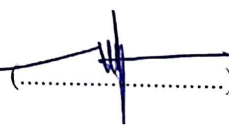
Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP. 19601231 199003 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari kamis tanggal 30 Agustus 2018, , Tim Penguji Seminar Skripsi telah menerima dengan baik hasil seminar skripsi oleh mahasiswa: Hadi Syamsuddin NIM 442 14 010 dan A.M. Ayub Ali NIM 442 14 020 dengan judul **Modifikasi Sistem Pendingin Pada *Petrol Engine* CM11.**

Makassar, 30 Agustus 2018

Panitia Ujian Skripsi :

- | | | |
|-------------------------------------|---------------|--|
| 1. Ir. Suryanto, M. Sc., Ph.D. | Ketua |  |
| 2. Yiyin Klistafani S.T., M.T. | Sekretaris |  |
| 3. Musrady Mulyadi, S.S.T., M.T. | Anggota 1 |  |
| 4. Ir. Nur Hamzah Said, M.T., Ph.D. | Anggota 2 |  |
| 5. Ir. Laode Musa, M.T. | Pembimbing I |  |
| 6. Abdul Rahman, S.T., M.T. | Pembimbing II |  |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul "Modifikasi Sistem Pendingin Pada *Petrol Engine* CM11" dapat diselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang kami alami. Namun berkat bantuan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat kami atasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan ini kami menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua kami yang senantiasa mendidik serta membantu kami.
2. Bapak Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.Si., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. Laode Musa, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang sekaligus pembimbing I kami yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan kami dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Abdul Rahman, S.T., M.T., sebagai pembimbing II kami yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan kami dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Ir. Suryanto, M.T., Ph.D., sebagai dosen pembimbing praktikum *petrol engine* CM11 yang telah membantu dalam mengenalkan *petrol-engine*.

7. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T., sebagai dosen mata kuliah metode penelitian.
8. Bapak dan Ibu Dosen, Staf Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan banyak bantuan selama masa penyelesaian skripsi ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa serta kanda-kanda senior yang senantiasa memberi dorongan untuk selalu bersemangat serta rekan-rekan Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang angkatan 2014.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada keluarga kami yang telah memberikan doanya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga kami mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Makassar, Agustus 2018

Penulis,

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SIMBOL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
SURAT PERNYATAAN	xvii
RINGKASAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	4
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup Kegiatan	4
1.4 Tujuan Penelitian Dan Manfaat Kegiatan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Sistem Pendingin.....	5
2.2 Prinsip Kerja <i>Cooling Tower</i>	6
2.3 Konstruksi <i>Cooling Tower</i>	8
2.4 Klasifikasi <i>Cooling Tower</i>	13
2.5 Defenisi <i>Petrol Engine</i>	18

2.6 Sistem Pendingin <i>Petrol Engine</i>	20
2.7 Kinerja <i>Cooling Tower</i>	22
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Tempat dan Waktu.....	35
3.2 Alat dan Bahan	35
3.3 Prosedur/Langkah Kerja (Modifikasi <i>Cooling Tower</i>).....	44
3.4 Rangkaian Kontrol Pompa Dan <i>Fan</i>	48
3.5 Merakit Sistem Alat Pengujian.....	49
3.6 Skema Pemasangan.....	50
3.7 Skema Pengujian	51
3.8 Langkah-Langkah Pengujian.....	52
3.9 Metode Analisis.....	54
3.10 Diagram Alir Tugas Akhir	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
4.1 Data Hasil Pengujian.....	56
4.2 Analisis Sistem Pendingin	56
4.3 Grafik Dan Pembahasan.....	69
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan.....	76
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 3.1 <i>Flow meter</i>	39
Tabel 3.2 <i>Spesifikasi petrol engine CM11</i>	41



DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Skema <i>Cooling Tower</i>	6
Gambar 2.2 <i>Cooling Tower</i> dengan <i>fill</i>	7
Gambar 2.3 Konstruksi <i>Cooling Tower</i>	8
Gambar 2.4 Pipa distribusi (a) <i>Gravity</i> , (b) <i>Spray</i> , (c) <i>Rotary</i>	10
Gambar 2.5 <i>Splash Fill</i> (a) <i>Narrow edge</i> , (b) <i>Square bars</i> , (c) <i>Rough bars</i> , (d) <i>Grids</i>	11
Gambar 2.6 <i>Film Fill</i> (a) <i>Bedwood battens</i> ,(b) <i>Cellulose sheet</i> , (c) <i>Asbestos-cement</i> ,(d) <i>Wafeform</i>	12
Gambar 2.7 <i>Cooling Ponds</i>	14
Gambar 2.8 <i>Force draft counter flow</i>	15
Gambar 2.9 <i>Induce draft mixed flow</i>	16
Gambar 2.10 <i>Induce draft corss flow</i>	18
Gambar 2.11 Siklus Otto.....	20
Gambar 2.12 Sistem Pendingin <i>Petrol-engine</i>	21
Gambar 2.13 Diagram <i>Cooling Tower</i>	28
Gambar 2.14 Aliran <i>counter flow</i> dan profil temperatur.	32
Gambar 3.1 <i>Fan</i>	35
Gambar 3.2 Pompa Air.	36
Gambar 3.3 Lutron.....	37
Gambar 3.4 (a) Sensor yang mengukur <i>cooling tower</i> , (b) termokopel Tipe K yang mengukur suhu air masuk-keluar <i>heat exchanger</i> <i>petrolengine</i> , (c) alat perekam data temperature dari sensor termokopel, (d) Kabel data USB.	38

Gambar 3.5 <i>Sling</i>	39
Gambar 3.6 <i>Flowmeter</i>	40
Gambar 3.7 Barometer hidrolik.....	40
Gambar 3.8 <i>Petrol-engine</i> CM11.	42
Gambar 3.9 Desain <i>Cooling Tower</i>	44
Gambar 3.10 Rangkaian Kontrol Daya Pompa dan <i>Fan</i>	48
Gambar 3.11 Skema Pemasangan.....	50
Gambar 3.12 Skema Pengujian.	51
Gambar 4.1 Karakteristik Pompa	58
Gambar 4.2 Diagram Alir <i>Heat Exchanger</i>	60
Gambar 4.3 Grafik Entalpi Air Dan Udara <i>Cooling Tower</i>	66
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin T_1 , temperatur air masuk pendingin T_4) untuk debit 12 <i>liter/mnt</i>	69
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 16 <i>liter/mnt</i>	70
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 20 <i>liter/mnt</i>	71
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 24 <i>liter/mnt</i>	72
Gambar 4.8 Hubungan antara Temperatur dan Panjang perpindahan panas	73
Gambar 4.9 Hubungan antara Efisiensi-Efektivitas dan laju aliran air	74
Gambar 4.10 Hubungan <i>Number of Transfer Unit</i> dan Laju Aliran Air pada <i>Cooling Tower</i>	75

DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
ΔT	$^{\circ}\text{C}$	Range
T_{in}	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur air masuk <i>cooling tower</i>
T_{out}	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur air keluar <i>cooling tower</i>
T_{wb}	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur air ideal <i>cooling tower</i>
$T_{Approach}$	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur <i>Approach cooling tower</i>
ϵ_{ct}	%	Efektivitas <i>cooling tower</i>
\dot{m}_w	kg/s	Laju aliran air
\dot{m}_{sp}	kg/m ² s	Laju aliran air spesifik
A_{tower}	m ²	Luas <i>water basin</i>
q_{ct}	kW	Laju perpindahan panas
c_p	J/kg $^{\circ}\text{C}$	Kalor jenis air
q_{sp}	kW/m ²	Laju perpindahan panas spesifik
NTU _{ct}	-	<i>Number of Transfer Unit</i>
k_w	kg/m ² s	Koefisien difusi uap air ke dalam udara
a	m ² /m ³	Luas permukaan area <i>fill</i> per volume
V	m ³	Volume Pendinginan (air)
c_w	J/kg $^{\circ}\text{C}$	Kalor jenis air
T_w	$^{\circ}\text{C}$	Temperatur air
h_s	J/kg	Entalpi saturasi udara
h	J/kg	Entalpi udara
W_m	m ³ /h	Laju <i>make up water</i>

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
W_e	m^3/h	Laju evaporasi
W_d	m^3/h	Laju <i>drift lost</i>
W_b	m^3/h	Laju <i>blown down</i>
$\varphi_{air-water}$	-	Rasio air-udara <i>cooling tower</i>
$\dot{m}_{air\ sp}$	kg/m^2s	Laju aliran massa udara spesifik
h_{a1}	J/kg	Entalpi udara masuk ke <i>cooling tower</i>
h_{a2}	J/kg	Entalpi udara keluar ke <i>cooling tower</i>
ω_{H1}	%	Relative Humidity masuk <i>cooling tower</i>
ω_{H2}	%	Relative Humidity keluar <i>cooling tower</i>
h_{v1}	J/kg	Entalpi uap air udara masuk <i>cooling tower</i>
h_{v2}	J/kg	Entalpi uap air udara keluar <i>cooling tower</i>
h_{fA}	J/kg	Entalpi air masuk ke <i>cooling tower</i>
h_{fB}	J/kg	Entalpi air keluar ke <i>cooling tower</i>
p	m	Tinggi bak penampungan
t	m	Lebar bak penampungan
l	m	Panjang bak penampungan
v	m/s	Kecepatan Aliran
H_{total}	m	Tekanan Pipa
ρ_f	m^3/kg	Massa jenis air
g	m/s^2	Gravitasi bumi
h_{fl}	m	Kerugian mayor

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
f	-	<i>Friction</i>
L	m	Panjang pipa
D	m	Diameter pipa
h_k	m	Kerugian minor
k	-	Kekasaran
ϵ_{he}	%	Efektivitas <i>heat exchanger</i>
q_{he}	kW	Laju perpindahan panas
$q_{he\ max}$	kW	Laju perpindahan panas maksimal
P_{out}	kW	Daya keluar
P_{in}	kW	Daya masuk
η_{pump}	%	Efisiensi pompa
η_{fan}	%	Efisiensi <i>fan</i>
LHV	J/kg	<i>Low Heat Value</i>
Q_{fl}	m ³ /s	Laju aliran bahan bakar
ρ_{fl}	kg/m ³	Massa jenis bahan bakar
q_{bb}	kW	Daya bahan bakar
SFC	g/kWh	<i>Spesification Fuel Consumption</i>
\dot{m}_{bb}	kg/s	Laju aliran massa bahan bakar
P_s	kW	Daya poros <i>petrol-engine</i>

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
η_{pe}	%	Efisiensi <i>petrol-engine</i>
P_{sc}	Bar	Tekanan <i>suction</i> pompa
P_d	Bar	Tekanan <i>discharge</i> pompa
Q_{pp}	m ³ /s	Laju aliran air pompa
V_p	volt	Tegangan pompa
I_p	Ampere	Kuat arus pompa
n	-	Putaran poros <i>petrol-engine</i>
τ	Nm	Torsi <i>petrol-engine</i>
T_{A1}	°C	Temperatur udara masuk
T_{A2}	°C	Temperatur udara keluar
Q_A	m ³ /s	Laju aliran udara
ρ_A	kg/m ³	Massa jenis udara
T_{W1}	°C	Temperatur air keluar <i>cooling tower</i>
T_{W2}	°C	Temperatur air masuk <i>heat exchanger</i>
T_{W3}	°C	Temperatur air keluar <i>heat exchanger</i>
T_{W4}	°C	Temperatur air masuk <i>cooling tower</i>
T_{ab}	°C	Temperatur udara kering
RH_1	%	Kelembapan udara masuk
RH_2	%	Kelembapan udara keluar
v_f	m/s	Kecepatan <i>fan</i>
V_f	volt	Tegangan motor <i>fan</i>
I_f	Ampere	Kuat arus motor <i>fan</i>

DAFTAR LAMPIRAN

	hlm.
LAMPIRAN 1	79
1. Tabel A.1 Data Pengujian Pompa Air Dan <i>Fan</i>	80
2. Tabel A.2 Data Pengujian <i>Cooling Tower</i> Dengan Debit Air Yang Bervariasi	81
3. Tabel A.3 Data Hasil Perhitungan Kinerja Pendinginan <i>Cooling Tower</i> ...	94
4. Tabel A.4 Data percobaan dan Hasil Perhitungan <i>Cooling Ponds</i>	107
5. Tabel A.5 Sifat-sifat Air	109
6. Tabel A.6 Sifat-sifat Udara	110
7. Tabel A.7 Kekasaran Material	111
8. Tabel A.8 Karakteristik Material	112
9. Tabel A.9 <i>Properties Of Saturated Water : Temperature Table</i>	113
10. Gambar A.1 Diagram Moody	115
11. Gambar A.2 Diagram Psychometri Udara	116
LAMPIRAN 2	117
1. <i>Manual Book Petrol Engine CM11</i>	118
2. Katalog <i>Fan Cooling Tower</i>	121
3. Langkah Operasi <i>Petrol Engine CM11</i>	122
4. Langkah Operasi <i>Software Picolog</i>	126
LAMPIRAN 3	131
1. Tabel C.1 Daftar Kegiatan Modifikasi Sistem Pendingin Pada <i>Petrol Engine</i>	132
2. Gambar C.1 <i>Cooling Tower</i> Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi.....	133
3. Gambar C.2 <i>Fan Cooling Tower</i> Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi	133

4. Gambar C.3 <i>Petrol Engine</i> CM11 Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi ..	134
5. Gambar C.4 (a - d) Modifikasi Sistem Pendingin Pada <i>Petrol Engine</i> CM11	136
6. Gambar C.5 Pengujian Sistem Pendingin Pada <i>Petrol Engine</i> CM11.....	136
7. Laporan Keuangan Modifikasi Sistem Pendingin	137



SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Mahasiswa 1

Nama : Hadi Syamsuddin

NIM : 442 14 010

Mahasiswa 2

Nama : A.M. Ayub Ali

NIM : 442 14 020

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Modifikasi Sistem Pendingin Pada Petrol Engine CM11** merupakan gagasan dan hasil karya kami sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan kami tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2018



METERAI
TEMPEL
DFAB7AFF285860477
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Hadi Syamsuddin
442 14 010



METERAI
TEMPEL
4C6AAAF285860478
6000
ENAM RIBU RUPIAH

A.M. Ayub Ali
442 14 020

MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN PADA *PETROL ENGINE* CM11

RINGKASAN

Sistem pendingin mesin secara umum terbagi tiga yaitu pendinginan udara, pendinginan air dan pendinginan oli. Sistem pendingin dengan metode pendinginan air yang menggunakan kolam pendingin (*cooling ponds*) yang proses mendinginkan dengan cara sederhana yang membuat pendinginan menjadi tidak efektif dan efisien. Hal itu dihubungkan dengan instalasi pemipaan yang tidak permanen dan kurang dalam hal nilai estetika ruang. Sedangkan sistem pendingin dengan metode pendinginan air yang menggunakan *cooling tower* dapat lebih efektif dan efisien, serta dibantu dengan pemasangan instalasi pemipaan yang permanen. Klasifikasi *cooling tower* terdiri dari tiga macam yaitu *wet cooling tower*, *dry cooling tower*, *wet-dry cooling tower*. Sehubungan dengan itu maka dalam penelitian ini dilakukan modifikasi sistem pendingin pada *petrol engine* CM11.

Penelitian ini akan mencari nilai parameter-parameter yang akan diperoleh dari pengambilan data secara langsung dengan menggunakan *petrol engine* CM11 sebagai objek yang akan didinginkan. Jenis *cooling tower* yang akan digunakan yaitu *induce draft cooling tower*. Parameter-parameter yang diperoleh digunakan untuk proses perhitungan untuk mencari nilai rentang temperatur, temperatur *approach*, efektivitas *cooling tower*, laju perpindahan panas *cooling tower*, *number of transfer unit* (NTU) *cooling tower*.

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa pengaruh laju aliran air yang mengalir (12-24 liter/mnt) terhadap efektifitas pendinginan berbanding lurus, dimana semakin tinggi laju aliran air maka semakin tinggi pula nilai efektivitas *cooling tower*. Namun, efisiensi *petrol-engine* berbeda. Laju aliran air dengan 24 liter /mnt memiliki nilai efektivitas *cooling tower* yang tinggi rata-rata 78,77%, namun memiliki efisiensi *petrol engine* rata-rata yang rendah 21,25%. Sedangkan pada laju aliran air 12 liter/mnt memiliki nilai efektivitas *cooling tower* rata-rata 51,79% dan efisiensi *petrol engine* rata-rata 39,37%, namun waktu operasi selama 16 menit berbeda dengan 24 liter/mnt yang mampu beroperasi selama 2 jam dengan temperatur air < 40°C. Maka untuk mendapatkan operasi yang optimal yaitu pada laju aliran air 20 liter/mnt yang memiliki efektivitas *cooling tower* rata-rata 46,80 % dan efisiensi *petrol engine* rata-rata 38,05% yang mampu beroperasi selama 2 jam. Besarnya *number of transfer unit* (NTU) *cooling tower* rata-rata 0,1139 dan laju *make up water* 0,006389 m³/h.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan teknologi pada bidang perpindahan panas di Indonesia pada waktu sekarang, semakin berkembang menuju peningkatan dari segi efektivitas dan efisiensi. Hal tersebut juga berpengaruh pada teknologi yang digunakan di industri. Sistem yang diterapkan di industri mulanya dari teknologi konvensional kemudian beralih menggunakan alat-alat yang lebih efektif dan efisien untuk memudahkan proses dari sistem tersebut.

Sistem pendingin merupakan area kerja dari komponen-komponen pendingin yang digunakan untuk mendinginkan. Hal ini terbagi menjadi tiga macam berdasarkan metode mendinginkan, yaitu pendinginan udara, pendinginan air dan pendinginan oli.

Aplikasi dari perubahan teknologi di industri seperti pada sistem pendingin pada industri pembangkit listrik *thermal* yang mendinginkan komponen-komponen penting dari industri tersebut, seperti kondensor, turbin, generator, motor bakar. Sistem pendingin terbagi menjadi dua bagian berdasarkan metode pendinginan dengan media air, yaitu sistem pendinginan dengan *cooling ponds* dan sistem pendingin dengan *cooling tower*.

Cooling ponds merupakan luasan tanah yang besar untuk menampung air dalam jumlah besar untuk proses pendinginan. Proses perpindahan panas terjadi pada permukaan air dengan cara kontak langsung antara air dengan udara. *Cooling ponds* merupakan suatu proses pendinginan air yang sederhana, mudah

dan murah tetapi sangat tidak efisien dalam perpindahan panasnya. Kelemahan dari *cooling ponds* membuat industri lebih memilih *cooling tower*. Menurut El. Wakil (1985), *cooling tower* didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap sehingga *cooling tower* tersebut akan memberikan efektivitas dan efisiensi pendinginan yang optimal. Kedua sistem tersebut tetap difungsikan dalam upaya pendinginan, namun pada *cooling ponds* mulai ditinggalkan. Laboratorium mesin diesel jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, sistem pendinginan masih menggunakan *cooling ponds* pada sistem pendingin mesin motor bakar jenis *petrol-engine*.

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi *thermal* hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan pada umumnya, motor bakar dibedakan menjadi dua yaitu motor bensin (*petrol-engine*) dan motor diesel (Wardono dalam Ernady, 2004). *Petrol-engine* ini digunakan untuk praktikum mahasiswa di Politeknik Negeri Ujung Pandang. Indikator sistem pendingin *Petrol-engine* yang penting diperhatikan yaitu volume air pada *cooling ponds*. Volume air sangat berpengaruh dalam proses pendinginan *petrol-engine* sehingga ketika volume air di dalam *cooling ponds* kurang maka *petrol-engine* tidak dapat dioperasikan. Pengoperasian pompa dengan daya yang besar digunakan untuk menyalurkan air keseluruh bagian-bagian laboratorium termasuk *petrol-engine*. Temperatur air pendingin yang masuk dan keluar dari *petrol-engine*

yaitu 28,5°C dan 34,4°C untuk putaran mesin 1700 rpm dan torsi 18,7 Nm (Data praktikum *petrol engine*, 2018) merupakan kemampuan kecil dari mesin yang memiliki putaran 3400 rpm dan 86 Nm. Kinerja pendinginan tidak efektif dan efisien sehingga *petrol-engine* yang beroperasi tidak optimal bahkan dapat *over heating*. Menurut Handoyo (1999), Apabila temperatur air pendingin masuk *engine* terlalu tinggi, maka efisiensi mekanis *engine* akan menurun dan dikhawatirkan dapat terjadi *over - heating* pada *engine*, sedang bila temperatur air terlalu rendah, maka efisiensi *thermal* akan menurun. Permasalahan yang terdapat pada *cooling ponds* digandengi dengan instalasi pemipaan yang kurang baik dari sisi estetika ruangan karena menggunakan selang air di laboratorium mesin diesel serta bertujuan mengantisipasi *over heating* diperlukan *cooling tower* tersendiri untuk *petrol-engine*.

Cooling tower tersebut akan memberikan efektivitas dan efisiensi pendinginan yang optimal pada *petrol-engine* dengan mendinginkan air pendingin pada selisih temperatur 5 °C. Pendinginan dapat terjadi disebabkan *fan* yang berputar di atas ruang *cooling tower*. Penyaluran air dari *cooling tower* ke mesin dan kembali ke *cooling tower* dapat menggunakan instalasi pemipaan. Instalasi pemipaan akan menjamin penyaluran air *cooling tower* dan memberikan nilai estetika ruang daripada menggunakan selang air yang digunakan hanya untuk sementara waktu.

Kelebihan dari *cooling tower* tidak dimiliki oleh pendinginan dengan *cooling ponds*, yang mana prinsip kerja dari *cooling ponds* mirip dengan prinsip kerja sistem pendingin terbuka. Menurut Rakhman (2013) kekurangan dari sistem

pendingin terbuka yaitu kualitas air tidak dapat dikontrol, sumber air harus tersedia dalam jumlah yang besar dan kontinyu. Berdasarkan latar belakang diangkat judul penelitian “**Modifikasi Sistem Pendingin pada *Petrol-engine* CM11**”, semoga penelitian ini dapat memberikan sumbangsi besar dalam ilmu pengetahuan dan teknologi.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana memodifikasi sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11 ?
2. Berapa nilai efektivitas dan kinerja sistem pendinginan ?

1.3. Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup penelitian ini membatasi pada modifikasi sistem pendingin yang sudah ada dan pemasangan instalasi pemipaan pada *petrol-engine* CM11 di laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang dan penelitian ini hanya dikhususkan pada kinerja *cooling tower* sebagai media pendingin air radiator *petrol engine*.

1.4. Tujuan dan Manfaat Kegiatan

1.4.1. Tujuan Kegiatan

1. Memodifikasi sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11.
2. Menganalisis nilai efektivitas dan kinerja sistem pendingin.

1.4.2. Manfaat Kegiatan

1. Dapat Menjaga keandalan *petrol-engine* CM11 dalam beroperasi.
2. Pendinginan pada mesin dapat terkontrol.
3. Hasil penelitian dapat digunakan untuk menggambarkan tingkat efektivitas sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11 di laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Sistem Pendingin

Sistem pendingin merupakan area kerja dari komponen-komponen pendingin yang digunakan untuk mendinginkan. Sistem pendingin terbagi menjadi tiga macam berdasarkan metode mendinginkan, yaitu pendinginan udara, pendinginan air dan pendinginan oli. Sistem pendingin air terbagi menjadi dua bagian, yaitu sistem pendinginan dengan *cooling ponds* dan sistem pendingin dengan *cooling tower*.

Cooling ponds merupakan luasan tanah yang besar untuk menampung air dalam jumlah besar untuk proses pendinginan. *Cooling tower* merupakan alat untuk menurunkan temperatur air pendingin yang telah menyerap kalor dari beban kalor kemudian mengekstraksi panas ke udara bebas. Akibatnya temperatur air relatif menurun sehingga dapat disirkulasikan kembali dalam sistem.

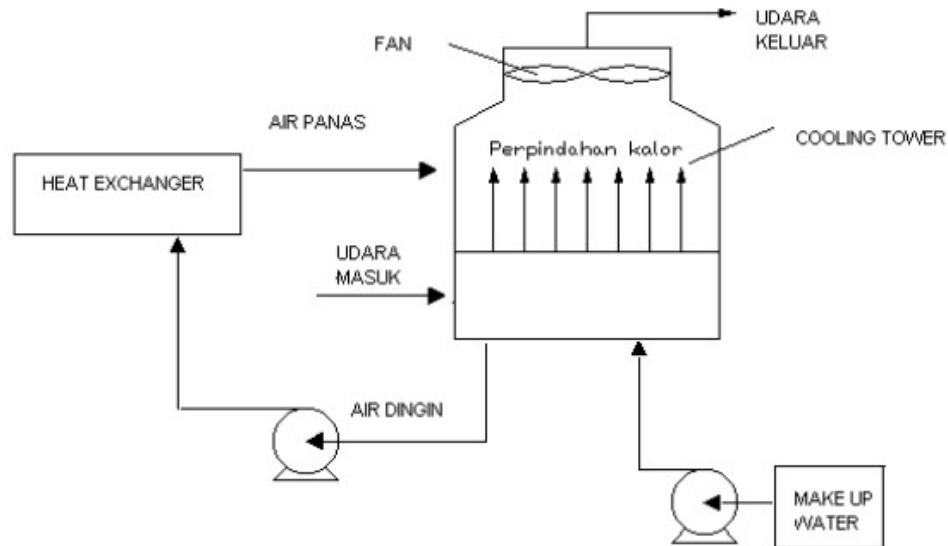
Menurut El. Wakil (1985), *cooling tower* didefinisikan sebagai alat penukar kalor yang fluida kerjanya adalah air dan udara yang berfungsi mendinginkan air dengan kontak langsung dengan udara yang mengakibatkan sebagian kecil air menguap. Kebanyakan *cooling tower* yang bekerja pada sistem pendinginan udara menggunakan pompa sentrifugal untuk menggerakkan air vertikal ke atas melintasi *cooling tower*.

Cooling tower mampu menurunkan suhu air lebih rendah dibandingkan dengan peralatan-peralatan yang hanya menggunakan udara untuk membuang

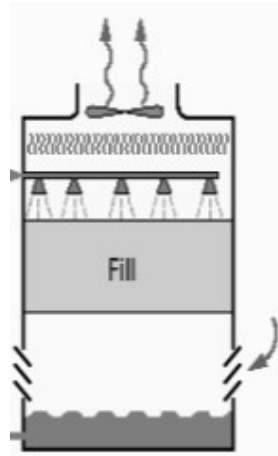
panas, seperti radiator dalam mobil, dan oleh karena itu biayanya lebih efektif dan efisien energinya.

2.2. Prinsip Kerja *Cooling tower*

Prinsip kerja *cooling tower* diawali dari bak penampungan air (*water basin*) yang dipompa menuju *heat exchanger*. Temperatur air sejuk disebabkan belum adanya beban kalor, setelah air melewati *heat exchanger* temperatur air meningkat karena air telah menyerap kalor di dalam *heat exchanger*. Air menuju ke *cooling tower* untuk didinginkan. Sehingga air dapat bersirkulasi dan menyerap kalor kembali.



Gambar 2.1 Skema *Cooling tower*
(sumber gambar : Nasution, 2010)



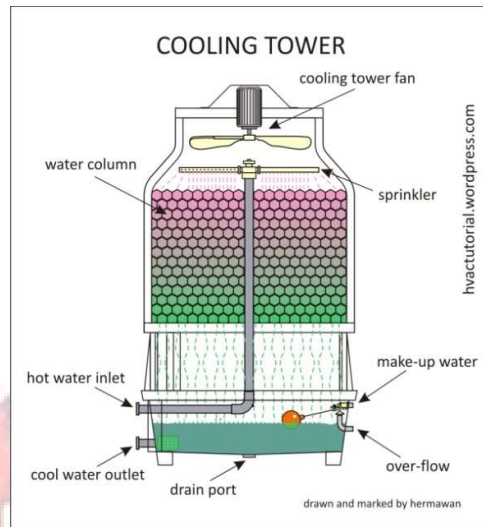
Gambar 2.2 *Cooling tower* dengan *fill*
(sumber gambar : El.Wakil, 1985)

Fan yang bergerak berfungsi membuat aliran udara melewati bahan pengisi menuju saluran keluar pada puncak *cooling tower*. Perpindahan panas terjadi pada dua fluida, yaitu air yang telah menyerap kalor dan udara yang hendak dihembuskan keluar puncak *cooling tower* dengan bantuan *fill* yang berada di dalam *cooling tower*, setelah itu air jatuh ke bak penampungan dengan kondisi air yang telah melepas kalor. Air kembali dipompa menuju *heat exchanger*.

Cooling tower juga dipasang katup *make up water* untuk menambah kapasitas air pendingin jika terjadi kehilangan air ketika proses *evaporative cooling* tersebut sedang berlangsung. *Make up water* dipompa dengan pompa lain untuk masuk ke dalam bak penampungan. Udara yang telah keluar dari *cooling tower* diganti dengan udara bebas dari luar *cooling tower* dengan melewati celah-celah di *cooling tower* saat proses pendinginan berlangsung. Sistem ini sangat efektif dalam proses pendinginan air karena suhu kondensasinya sangat rendah mendekati suhu *wet-bulb* udara.

2.3. Konstruksi *Cooling Tower*

Konstruksi *cooling tower* jenis aliran angin tarik (*induced draft counterflow cooling tower*) adalah sebagai berikut.



Gambar 2.3 Konstruksi *cooling tower*
(sumber gambar : <https://hvactutorial.wordpress.com>)

Konstruksi *cooling tower* terdiri atas:

1. Kipas (*fan*)

Kipas merupakan bagian terpenting dari sebuah *cooling tower* karena berfungsi untuk menarik udara dingin dan mensirkulasikan udara tersebut di dalam menara untuk mendinginkan air. Kipas tidak berfungsi menyebabkan kinerja *cooling tower* tidak akan optimal. Kipas digerakkan oleh motor listrik yang dikopel langsung dengan poros kipas.

2. Kerangka pendukung menara (*tower supporter*)

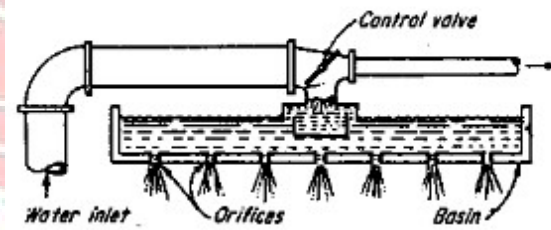
Kerangka pendukung menara berfungsi untuk mendukung *cooling tower* agar dapat berdiri kokoh dan tegak. *Tower supporter* terbuat dari *fiber*.

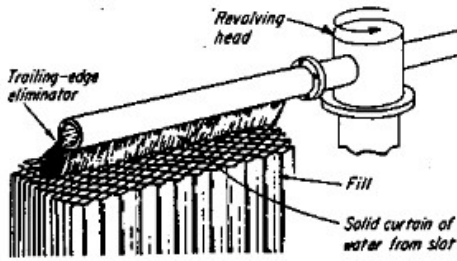
3. Rumah *cooling tower* (*casing*)

Rumah *cooling tower* (*casing*) harus memiliki ketahanan yang baik terhadap segala cuaca dan umur pakai (*life time*) yang lama. *Casing* terbuat dari *fiber*.

4. Pipa distribusi

Pipa distribusi merupakan pipa yang berfungsi untuk mensirkulasikan air secara merata pada *cooling tower*, sehingga perpindahan kalor air dapat menjadi efektif dan efisien. Ada beberapa jenis pipa distribusi, menurut El. Wakil (1985), pipa distribusi air pada *cooling tower* dibagi menjadi tiga jenis, yaitu *gravity*, *spray* dan *rotary*.





c.

Gambar 2.4 Pipa distribusi (a) *Gravity*, (b) *Spray*, (c) *Rotary*
(sumber gambar : El.Wakil, 1985)

5. Penampung air (*water basin*)

Water basin berfungsi sebagai pengumpul air sementara yang jatuh dari *filling material* sebelum disirkulasikan kembali ke mesin *petrol-engine*.

Water basin terbuat dari *fiber*.

6. Lubang udara (*inlet louver*)

Inlet louver berfungsi sebagai tempat masuknya udara melalui lubang- lubang yang ada. Melalui *inlet louver* akan terlihat kualitas dan kuantitas air yang akan didistribusikan.

7. Bahan Pengisi (*filling material*)

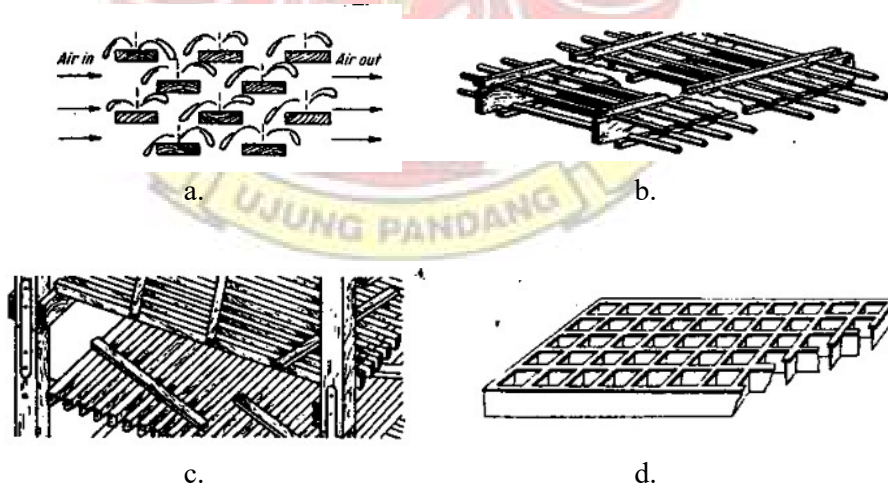
Filling material merupakan bagian dari *cooling tower* yang berfungsi untuk mencampurkan air yang jatuh dengan udara yang bergerak naik. Air yang masuk mempunyai suhu yang cukup tinggi akan disemprotkan ke *filling material*. *filling material* inilah air yang mengalir turun ke *water basin* akan bertukar kalor dengan udara segar dari atmosfer. Oleh sebab itu, *filling material* harus dapat menimbulkan kontak yang baik antara air dan udara agar terjadi laju perpindahan kalor yang baik. *Filling material* harus kuat, ringan dan tahan lapuk.

Filling material ini mempunyai peranan sebagai memecah air menjadi butiran-butiran tetes air dengan maksud untuk memperluas permukaan pendinginan sehingga proses perpindahan panas dapat dilakukan seefisien mungkin.

Menurut El. Wakil (1985), Jenis bahan pengisi dapat dibagi menjadi dua yaitu: *splash type* dan *film*.

a. Bahan pengisi jenis percikan (*Splash type*)

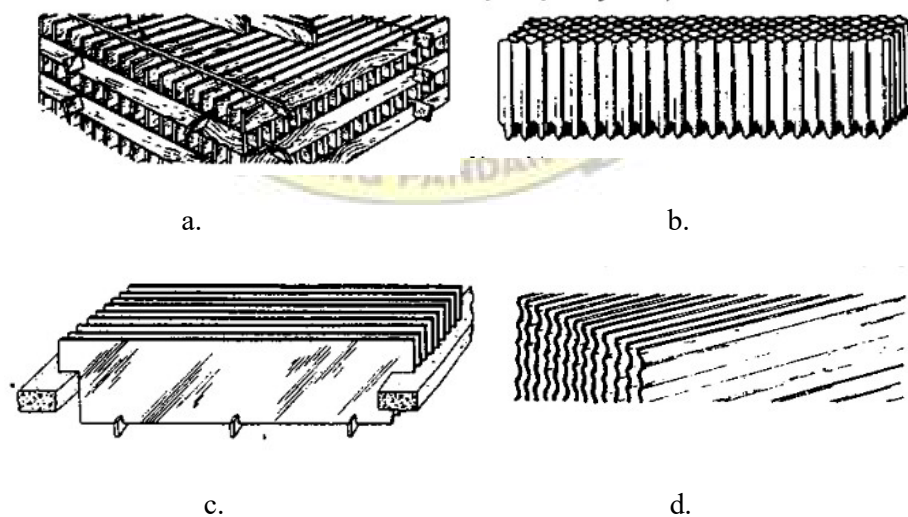
Air jatuh diatas lapisan yang berurut dari batang pemercik horisontal, secara terus menerus pecah menjadi tetesan yang lebih kecil, sambil membasahi permukaan bahan pengisi. Luas permukaan butiran air adalah luas permukaan perpindahan kalor dengan udara. Bahan pengisi percikan dari plastik memberikan perpindahan kalor yang lebih baik daripada bahan pengisi percikan dari kayu.



Gambar 2.5 *Splash Fill* (a) *Narrow edge* , (b) *Square bars*, (c) *Rough bars* , (d) *Grids*
(sumber gambar : El.Wakil, 1985)

b. Bahan pengisi jenis film (*film fill*)

Terdiri dari permukaan plastik tipis dengan jarak yang berdekatan dimana di atasnya terdapat semprotan air, membentuk lapisan *film* yang tipis dan melakukan kontak dengan udara. Permukaannya dapat berbentuk datar, bergelombang, berlekuk, atau pola lainnya. Pada bahan pengisi *film*, air membentuk lapisan tipis pada sisi-sisi lembaran pengisi. Luas permukaan dari lembaran pengisi adalah luas perpindahan kalor dengan udara sekitar. Jenis bahan pengisi *film* lebih efisien dan memberi perpindahan kalor yang sama dalam volume yang lebih kecil dari pada bahan pengisi jenis *splash*. Bahan pengisi *film* dapat menghasilkan penghematan listrik yang signifikan melalui kebutuhan air yang lebih sedikit dan *head* pompa yang lebih kecil.



Gambar 2.6 *Film Fill* (a) *Bedwood battens* ,(b) *Cellulose sheet* ,(c) *Asbestos-cement* ,(d) *Wafeform*
(sumber gambar : El.Wakil, 1985)

8. Instalasi pemipaan *cooling tower*

Instalasi pemipaan *cooling tower* merupakan bagian yang digunakan untuk mengalirkan air dari mesin ke *cooling tower* dan sebaliknya. Konstruksi pemipaan *cooling tower* disesuaikan dengan debit air yang akan dialirkan oleh pompa. Ukuran panjang pipa, diameter pipa dan jenis pipa yang digunakan menjadi parameter dalam merancang *cooling tower*.

9. Pompa *cooling tower*

Pompa *cooling tower* adalah bagian luar dari konstruksi *cooling tower* yang digunakan untuk mensirkulasikan air dari mesin ke *cooling tower*. Pompa ini adalah pompa air yang disesuaikan tekanan dan debit air yang dibutuhkan dalam sistem pendinginan mesin.

2.4. Klasifikasi *Cooling Tower*

Cooling tower telah banyak digunakan dengan berbagai tipe dan bentuk dalam proses pendinginan. *Cooling tower* memiliki ukuran yang bervariasi berdasarkan kapasitas beban kalor yang didinginkan.

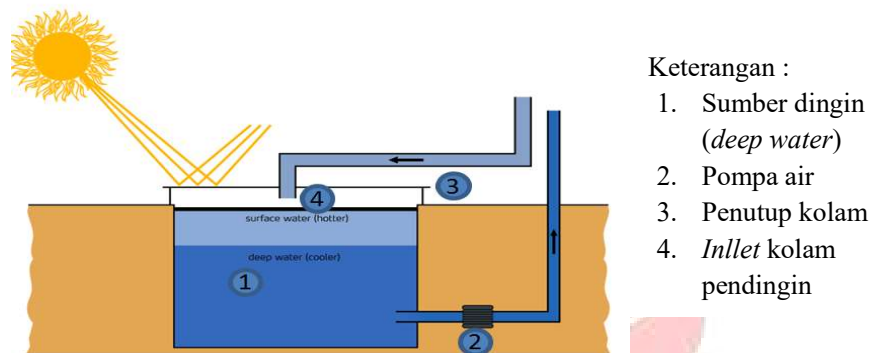
Menurut El.Wakil (1985), klasifikasi *cooling tower* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

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

Sedangkan untuk jenis yang paling sederhana dari pendingin air adalah jenis kolam pendingin (*cooling ponds*).

2.4.1 Kolam Pendingin (*Cooling ponds*)

Cooling ponds adalah suatu proses pendinginan air yang sederhana, mudah dan murah tetapi sangat tidak efisien dalam perpindahan panasnya. *Cooling ponds* memerlukan luasan tanah yang besar untuk menampung air dalam jumlah besar. Proses perpindahan panas terjadi pada permukaan air dengan cara kontak langsung antara air dengan udara.



Gambar 2.7 *Cooling Ponds*
(sumber gambar : <https://commons.wikimedia.org>)

2.4.2 Menara Pendingin Aliran Angin Mekanik (*Mechanical-Draft Cooling Tower*)

Ada banyak jenis klasifikasi *cooling tower*, menurut J.R. Singham (1983) *cooling tower* dapat diklasifikasikan atas tiga bagian, yaitu:

1. *Cooling tower* aliran angin alami (*natural draft cooling tower*)
2. *Cooling tower* aliran angin mekanik (*mechanical draft cooling tower*)
3. *Cooling tower* aliran angin alami-mekanik (*hybrid draft cooling tower*)

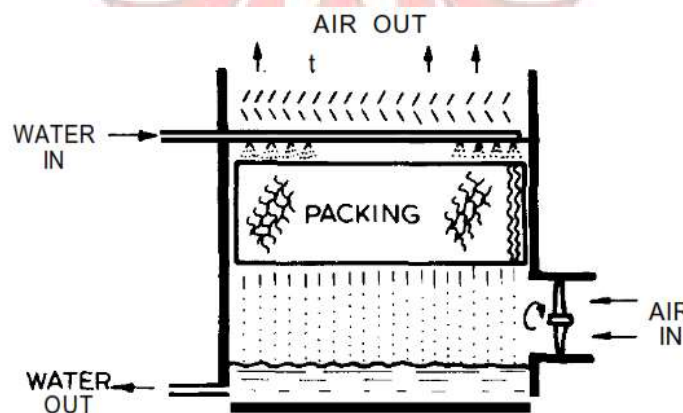
Setiap jenis *cooling tower* ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Pada *cooling tower* aliran angin mekanik, udara mengalir karena adanya satu atau beberapa kipas (*fan*) yang digerakkan secara mekanik. Fungsi kipas untuk mendorong udara (*forced-draft*) atau menarik udara melalui menara (*induced-draft*) yang dipasang pada bagian bawah atau atas menara.

Menurut J.R. Singham (1983), *cooling tower* aliran mekanik dibedakan menjadi tiga tipe yaitu *cooling tower force draft counter flow*, *induce draft mixed flow*, dan *induce draft cross flow*.

a. *Force draft counter flow*

Force draft counter flow adalah jenis aliran pada *cooling tower* yang prinsip kerjanya udara yang dihembuskan ke menara oleh sebuah *fan* yang terletak pada saluran udara masuk, sehingga terjadi kontak langsung dengan air yang jatuh. Perpindahan panas di dalam *cooling tower* menggunakan aliran berlawanan antara udara yang terdorong dengan air yang jatuh.



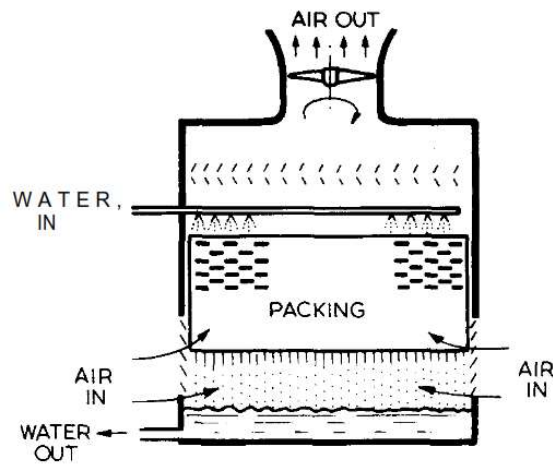
Gambar 2.8 *Force draft counter flow*
(sumber gambar : Singham, 1983)

Adapun kelebihan dan kekurangan dari tipe ini yaitu :

- Kelebihan :
 - kipas beroperasi dengan udara yang lebih dingin
 - konsumsi daya menjadi lebih kecil
 - perawatan kipas dan *bearing* mudah
- Kekurangan :
 - memiliki masalah-masalah yang berkaitan dengan distribusi udara
 - kebocoran dan resirkulasi udara kalor dan lembab kembali ke menara
 - masalah pembekuan pada masukan kipas ketika musim dingin

b. *Induce draft mixed flow*

Induce draft mixed flow adalah jenis aliran pada *cooling tower* yang prinsip kerjanya udara masuk melalui saluran celah udara masuk melewati bahan pengisi (*fill*) dan kontak langsung dengan air kemudian menuju saluran keluar pada puncak menara dengan menggunakan *fan* sebagai pengisap udara (*induce draft*).



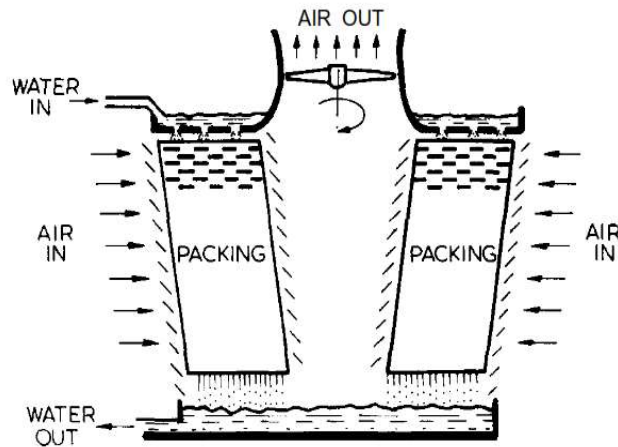
Gambar 2.9 *Induce draft mixed flow*
(sumber gambar : Singham, 1983)

Adapun kelebihan dan kekurangan dari tipe ini yaitu :

- Kelebihan :
 - Distribusi udara pendingin lebih baik dan merata
 - Menghindari kemungkinan terjadinya aliran balik udara panas masuk kembali ke intake *fan*.
 - Mengurangi pengaruh lingkungan seperti cuaca panas atau hujan pada operasi air pendingin.
- Kekurangan :
 - Kebutuhan daya yang lebih besar karena *fan* berada pada area udara panas.
 - Temperatur aliran udara dan aliran fluida terbatas untuk menghindari kerusakan *fan*

c. *Induce draft cross flow*

Induce draft cross flow adalah jenis aliran pada *cooling tower* yang prinsip kerjanya air panas dialirkan ke bak distribusi, lubang-lubang yang terdapat di bak distribusi akan mengalirkan air ke *fill* secara gravitasi, air mengalir pada permukaan *fill* dan udara turbulen akan mengalir ke dalam struktur sisi *fill* untuk memaksimalkan kontak air panas.



Gambar 2.10 *Induce draft cross flow*
(sumber gambar : Singham, 1983)

Adapun kelebihan dan kekurangan dari tipe ini yaitu :

- Kelebihan :
 - Menerima variasi dalam aliran tanpa mengubah sistem distribusi.
 - Mengurangi kerugian aliran pada air karena tidak adanya tetesan air.
 - Lebih rendah tingkat kebisingan.
- Kekurangan :
 - Dimensi yang lebih besar dibandingkan tipe yang lain.
 - Kecenderungan distribusi udara yang tidak merata melalui *fill* karena permukaan *inlet* udara besar.

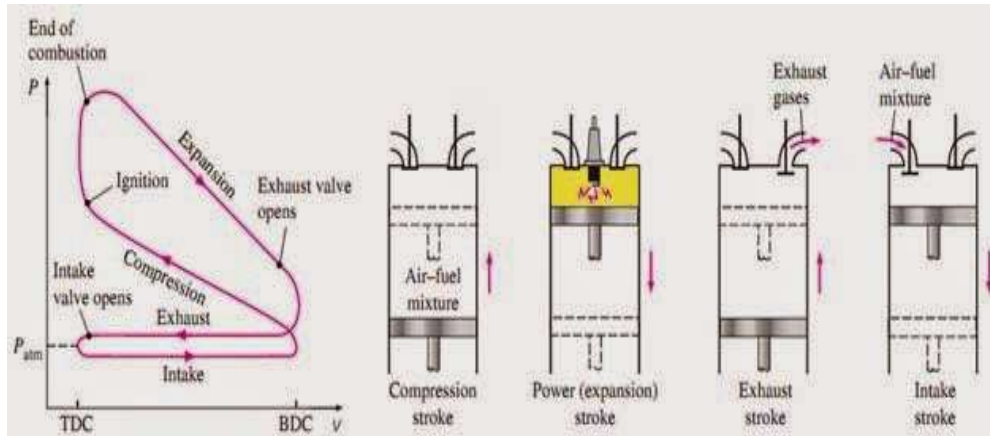
2.5 Defenisi *Petrol-engine*

Petrol-engine adalah mesin pembangkit energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. *Petrol-engine* biasa disebut motor bakar berbahan bakar bensin yang menggunakan silinder torak untuk proses konversi energi.

Menurut Wardono dalam Ernady (2004), Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan pada umumnya, Motor bakar dibedakan menjadi dua yaitu motor bensin dan motor diesel.

Motor bakar memiliki tahapan dalam proses konversi energi yang dimulai dari langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembilasan.

1. Langkah hisap diawali dengan posisi piston bergerak dari titik mati atas menuju titik mati bawah, katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup membuat udara dan bahan bakar masuk ke dalam ruang *silinder*.
2. Langkah kompresi diawali dengan tertutupnya katup hisap dan katup buang posisi piston bergerak menuju titik mati atas yang mengakibatkan bahan bakar menjadi padat serta temperatur dan tekanannya menjadi naik.
3. Langkah kerja diawali dengan pembakaran campuran udara dan bahan bakar yang sudah terkompresi menghasilkan tekanan hasil pembakaran yang tinggi, sehingga posisi piston bergerak menuju titik mati bawah.
4. Langkah pembilasan diawali dengan katup buang terbuka ketika piston mencapai titik mati bawah, kemudian kembali naik menuju titik mati atas untuk mendorong keluar gas sisa pembakaran.

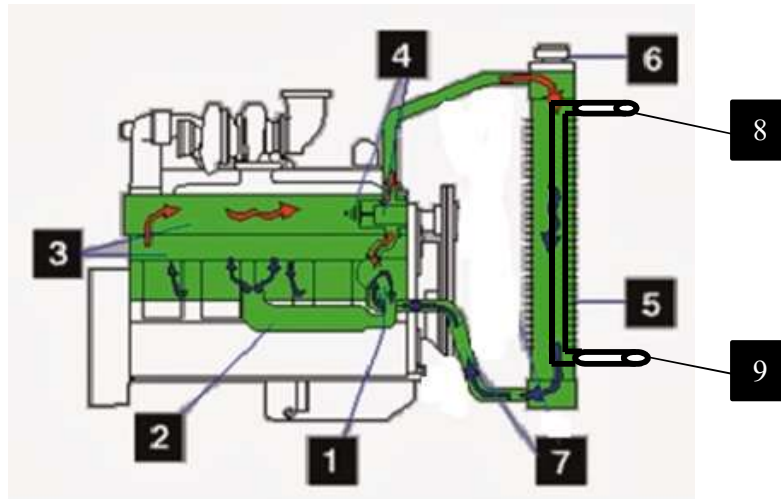


Gambar 2.11 Siklus Otto
(sumber gambar : <http://tutorialteknik.blogspot.co.id>)

2.6 Sistem Pendingin *Petrol-engine*

Sistem pendingin merupakan suatu sistem yang sangat penting dalam menjaga kemampuan suatu mesin untuk dapat terus beroperasi dan mencegah terjadinya *over-heating* pada mesin. Sistem pendingin pada *petrol-engine* menggunakan air dan minyak sebagai media pendingin. Air tersebut terdapat dalam radiator yang bersirkulasi di dalam mesin. Kinerja sistem pendingin kurang efektif apabila air pendingin bersirkulasi di dalam mesin terlalu lama yang menyebabkan temperatur air pendingin akan naik dan beresiko pada mesin mengalami *over-heating*. Menurut Handoyo (1999), Apabila temperatur air pendingin masuk *engine* terlalu tinggi, maka efisiensi mekanis *engine* akan menurun dan dikhawatirkan dapat terjadi *over - heating* pada *engine*.

Sistem pendingin pada *petrol-engine* membutuhkan tambahan sub-sistem untuk mendinginkan air pendingin di dalam radiator yang pada umumnya menggunakan *fan* atau *cooling tower*. Adapun prinsip kerja dari sistem pendinginan *petrol-engine* dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Sistem Pendingin *Petrol-engine*
 (sumber gambar : <http://www.maritimeworld.web.id>)

Keterangan :

1. *Water pump*
2. *Oil cooler*
3. Lubang lubang pada *engine block* dan *cylinder head*
4. Temperatur regulator dan rumahnya
5. *Heat Exchanger*
6. *Heat Exchanger cap*
7. *House* serta pipa-pipa penghubung
8. Pipa keluaran *cooling tower*
9. Pipa masukan *cooling tower*

Prinsip kerja dari sistem pendingin *petrol-engine* terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

1. Air pendingin masuk dalam mesin dipompa dengan menggunakan *water pump* untuk dapat bersirkulasi menyeluruh di dalam mesin.

2. Air tersebut masuk ke dalam area pendinginan *oil cooler* untuk mendinginkan oli yang telah menyerap panas.
3. Setelah itu air masuk ke area pendinginan *jacket water* untuk mendinginkan kepala piston, liner dan ring. Kemudian masuk ke area *cylinder head* untuk menyerap panas pada *valve seat* dan *valve guide*.
4. Air tersebut kemudian masuk ke bagian *regulator housing* untuk dideteksi temperatur air pendingin, apabila temperatur air tidak mencapai nilai pembukaan katup radiator maka akan dikembalikan ke area *water pump* melalui pipa by-pass. Namun bila mencapai nilai pembukaan katup radiator maka akan disalurkan masuk ke radiator.
5. Radiator akan dialiri air pendingin kemudian panas dari air pendingin ditransfer ke fluida lain diluar radiator dengan udara atau air.

2.7 Kinerja Cooling Tower

Kinerja *cooling tower* dievaluasi untuk mengkaji tingkat *approach* dan *range* operasi terhadap nilai rancangan, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi, dan juga untuk mendapatkan saran perbaikan.

Sebagai evaluasi kinerja, pemantauan dilaksanakan untuk mengukur parameter-parameter signifikan berikut ini:

1. Temperatur udara *wet bulb*
2. Temperatur udara *dry bulb*
3. Temperatur air masuk *cooling tower*
4. Temperatur air keluar *cooling tower*
5. Temperatur udara keluar

- 6. Laju aliran air
- 7. Laju aliran udara.

Parameter terukur tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kinerja *cooling tower* dalam beberapa cara, yaitu:

a. Rentang temperatur (*Range*)

Rentang temperatur merupakan perbedaan antara temperatur air masuk dan keluar *cooling tower*. Rentang temperatur yang tinggi berarti bahwa *cooling tower* telah mampu menurunkan temperatur air secara efektif dan kinerjanya baik. Rumusnya adalah sebagai berikut (El.Wakil, 1985) :

$$\Delta T = T_{in} - T_{out} \dots\dots\dots(2.1)$$

- Keterangan :
- ΔT = Rentang temperatur (°C)
 - T_{in} = Temperatur air masuk ke dalam *cooling tower* (°C)
 - T_{out} = Temperatur air keluar dari *cooling tower* (°C)

Rentang temperatur tidak ditentukan oleh *cooling tower*, namun oleh proses yang dilayani. Rentang temperatur pada suatu alat penukar kalor ditentukan seluruhnya oleh beban panas dan laju sirkulasi air yang melalui penukar panas dan menuju ke air pendingin. *Cooling tower* biasanya dikhususkan untuk mendinginkan laju aliran tertentu dari satu temperatur ke temperatur *wet bulb* tertentu. Menurut Nasution (2010), Temperatur air yang didinginkan dari 33 °C ke 28 °C sehingga selisih temperature 5 °C.

b. Approach

Approach adalah perbedaan antara temperatur air dingin keluar *cooling tower* (T_{out}) dan temperatur *wet bulb* (T_{wb}) lingkungan. Semakin rendah

approach semakin baik kinerja *cooling tower*. Walaupun rentang temperatur dan *approach* harus dipantau, akan tetapi, *approach* merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja *cooling tower* (El.Wakil, 1985) :

$$T_{Approach} = T_{in} - T_{wb} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan : $T_{Approach}$ = Selisih temperatur air keluar dan *wet bulb* (°C)

T_{in} = Temperatur air masuk ke *cooling tower* (°C)

T_{wb} = Temperatur *wet bulb* (°C)

Sebagaimana aturan yang umum, semakin dekat *approach* terhadap *wet bulb*, akan semakin mahal *cooling tower*nya karena meningkatnya ukuran. Ketika ukuran menara harus dipilih, maka *approach* menjadi sangat penting, yang kemudian diikuti oleh debit air dan udara, sehingga rentang temperatur (*range*) dan *wet bulb* mungkin akan menjadi semakin tidak signifikan.

Temperatur udara sebagaimana umumnya diukur dengan menggunakan termometer biasa yang sering dikenal sebagai temperatur bola kering (*dry bulb temperature*), sedangkan temperatur bola basah (*wet bulb temperature*) adalah temperatur yang diberi kasa basah, sehingga jika air menguap dari kasa dan bacaan suhu pada termometer menjadi lebih rendah daripada temperatur bola kering.

Kelembapan udara tinggi, penguapan akan berlangsung lamban dan temperatur bola basah (T_{wb}) identik dengan temperatur bola kering (T_{db}). Namun pada kelembapan rendah sebagian air akan menguap, jadi temperatur bola basah akan semakin jauh perbedaannya dengan temperatur bola kering.

c. Efektivitas pendinginan

Efektivitas pendinginan merupakan perbandingan antara *range* dan *range* ideal. Semakin tinggi perbandingan ini, maka semakin tinggi efektivitas pendinginan suatu *cooling tower* (Prayitno dalam Johanes, 1993) :

$$\epsilon_{ct} = 100 \% \times \left[\frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{wb}} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan: ϵ_{ct} = Efektifitas *cooling tower* (%)

T_{in} = Temperatur air masuk ke dalam *cooling tower* (°C)

T_{out} = Temperatur air keluar dari *cooling tower* (°C)

T_{wb} = Temperatur *wet bulb* (°C)

d. Laju aliran massa air spesifik

Sesuai dengan ukuran luas penampang *cooling tower* dan debit air, maka dapat dihitung laju aliran massa air spesifik dengan rumus sebagai berikut. (Nasution, 2010) :

$$\dot{m}_{sp} = \frac{\dot{m}}{A_{tower}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan : \dot{m}_{sp} = Laju aliran massa air spesifik (kg/m² s)

\dot{m} = Laju aliran massa air (kg/s)

A_{tower} = Luas penampang *cooling tower* (m²)

e. Kapasitas pendinginan (*cooling load*)

Kapasitas pendinginan suatu *cooling tower* adalah setara dengan kemampuan *cooling tower* tersebut dalam membuang panas ke lingkungan.

Kapasitas pendinginan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$q_{ct} = \dot{m} c_p \Delta T \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan : q_{ct} = Kapasitas pendingian (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa (kg/s)

c_p = Kalor jenis air (kJ/kg °C)

ΔT = Perbedaan suhu air masuk dan suhu air keluar (°C)

Sedangkan kapasitas pendinginan spesifik persatuan luas penampang *cooling tower* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$q_{sp} = \frac{q_{ct}}{A_{tower}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan : q_{sp} = Kapasitas pendingin spesifik (kW/m²)

q_{ct} = Kapasitas pendingian (kW)

A_{tower} = Luas penampang *cooling tower* (m²)

f. Number of transfer units (NTU) Cooling tower

Parameter yang sering digunakan oleh industri dan para perancang *cooling tower* adalah karakteristik menara ($K_{\omega} aV/m_w$) atau NTU (*number of transfer unit*), yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut, (Perry, 2008):

$$NTU_{ct} = \frac{k_{\omega} \times a \times V}{\dot{m}_w} = \int_{T_{out}}^{T_{in}} \frac{c_w \times dT_w}{h_s - h} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

NTU_{ct} = *Number transfer unit* / karakteristik *cooling tower*

k_{ω} = Koefisien difusi uap air ke dalam udara (kg/m²s)

a = Luas permukaan area *fill* per volume (m²/m³)

V = Volume Pendinginan (air) (m³)

\dot{m}_w = Laju aliran air (kg/s)

c_w = Panas jenis air pada tekanan tetap (kJ/kg °C)

T_w = Temperatur air (°C)

T_{in} = Temperatur air masuk (°C)

T_{out} = Temperatur air keluar (°C)

h_s = Entalpi spesifik udara jenuh pada suhu aliran air (kJ/kg)

h = Entalpi spesifik udara pada suhu aliran air (kJ/kg)

g. Laju penambahan *make up water*

Salah satu parameter kinerja *cooling tower* yang penting adalah laju penguapan air ke udara. Proses penguapan inilah yang menjadi prinsip dasar suatu *cooling tower* dalam mendinginkan air. Adapun rumus untuk menghitung laju penguapan air ke udara pada suatu *cooling tower* adalah sebagai berikut (Perry, 2008) :

$$W_m = W_e + W_d + W_b \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan: W_m = Laju penambahan *make up water* (m^3/s)

W_e = Laju penguapan air, $0,00085 (Q_w \times (T_2 - T_1))$
(m^3/s)

W_d = Laju drift loss, $0,0002 Q_w$ (m^3/s)

W_b = Laju blowdown, $\frac{W_m - (N_b - 1) \times W_d}{(N_b - 1)}$ (m^3/s), N_b , Cycle

h. Rasio air dengan udara

Nilai rasio air-udara adalah parameter yang sangat penting dalam pemilihan suatu *cooling tower*, terutama dalam pemilihan kapasitas *fan*.

Rasio ini merupakan perbandingan antara debit air spesifik yang hendak didinginkan terhadap debit udara spesifik yang diinduksikan oleh *fan* minimum :

$$\varphi_{air-water} = \frac{\dot{m}_{water}}{\dot{m}_{air}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

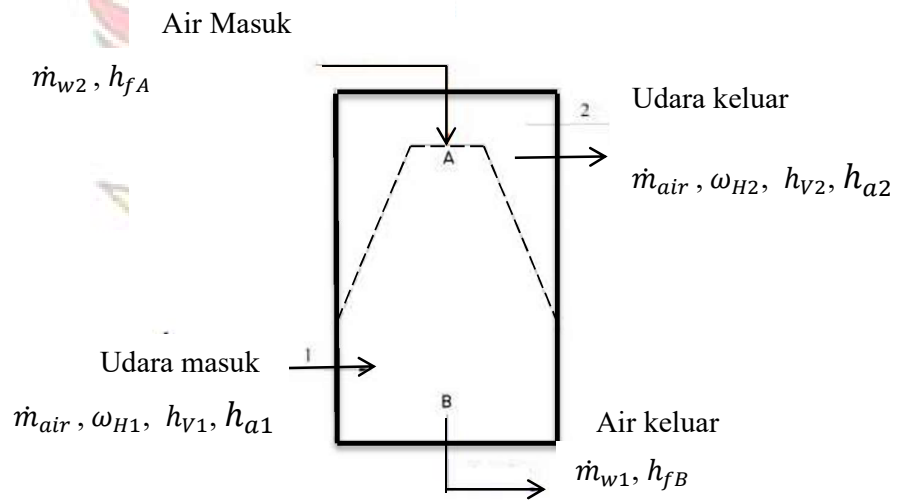
Keterangan: $\varphi_{air-water}$ = Rasio air-udara (%)

\dot{m}_{water} = Laju aliran massa air (kg/s)

$\dot{m}_{air\ sp}$ = Laju aliran massa udara (kg/s)

i. Kesetimbangan energi

Dengan asumsi adiabatik untuk operasi suatu *cooling tower*, maka akan berlaku persamaan kesetimbangan energi antara energi yang masuk dan keluar dari suatu *cooling tower*. (Hernández-Calderón dkk, 2014) :



Gambar 2.13 Diagram *cooling tower*
(Sumber Gambar : Nasution, 2010)

Adapun persamaan kesetimbangan energi yang dimaksud adalah sebagai berikut:

air yang melewati pipa :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{v \times \pi}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan : D = Diameter pipa (mm)

Q = Debit (m³/s)

v = kecepatan (m/s)

I. Kapasitas Pompa

Penentuan kapasitas pompa dapat diperoleh dengan menentukan debit dan *head* yang dikalikan dengan massa jenis dan gravitasi :

$$P_{out} = \rho_f \times Q_f \times H_{total} \times g \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan: P_{out} = Daya keluaran pompa (watt)

ρ_f = Massa jenis air (kg/m³)

Q_f = Laju aliran air (m³/s)

H_{total} = Tekanan air (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Pompa pada instalasi sistem ini digunakan untuk mengalirkan fluida berupa air. Perhitungan kapasitas pompa harus mempertimbangkan adanya kerugian mayor dan minor pada sistem. Kerugian mayor dihitung menggunakan pendekatan *Darcy-Weisbach*. Sehingga digunakan formula sebagai berikut :

$$h_{fl} = \frac{f \times L \times v^2}{2 \times D \times g} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan : h_{fl} = Kerugian mayor (m)

f = Faktor gesekan

v = kecepatan aliran (m/s)

L = Panjang Pipa (m)

D = Diameter (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Penggunaan formula *Darcy-Weisbach* dibutuhkan diagram Moody untuk mendapatkan nilai factor gesekan. Nilai factor gesekan akan dibutuhkan variable bilangan Reynolds dan nilai kekasaran relatif. Kekasaran relative adalah nilai dimana kekasaran absolut pada material tempat fluida mengalir/pipa dibagi dengan diameter lintasan aliran/pipa.

Kerugian minor adalah kerugian akibat pemasangan belokan dan instrument berupa katup pada instalasi lintasan fluida mengalir. Setiap instrument memiliki koefisien kerugian yang berbeda. Kerugian minor dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_k = k \frac{v^2}{2 \times g} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan : h_k = Kerugian minor (m)

k = Faktor kerugian (m)

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Total rugi-rugi keseluruhan pada saluran fluida mengalir yaitu :

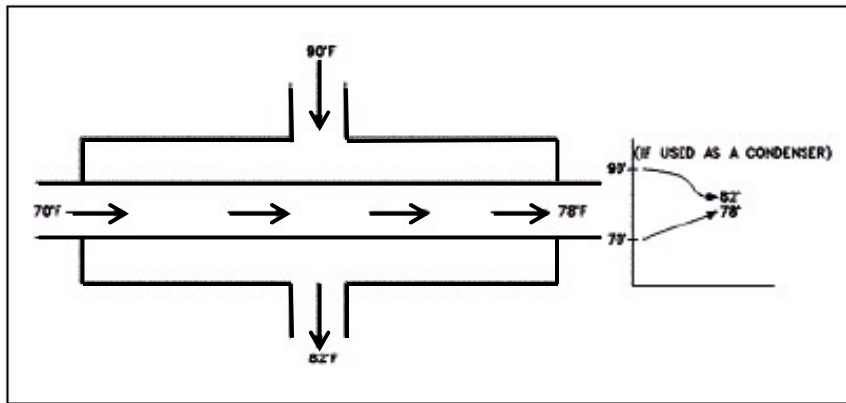
$$h_{ftotal} = h_{fl} + h_k \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan : h_{ftotal} = Kerugian total (m)

h_{f1} = Kerugian mayor (m)

h_k = Kerugian minor (m)

m. Laju Perpindahan panas *Heat Exchanger*



Gambar 2.14 Aliran *cross flow* dan profil temperatur
(Sumber gambar : <http://termodinamikahits.blogspot.co.id>)

Laju perpindahan panas dan koefisien perpindahan panas konveksi yang terjadi pada aliran yang mengalir di alat *Double Pipe Heat Exchanger*, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$q_{he} = \dot{m}_{wct} \times c_p \times (T_{out\ he} - T_{in\ he}) \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan : q_{he} = Laju perpindahan panas *heat exchanger* (W)

\dot{m}_{wct} = Laju aliran massa air pendingin (kg/s)

c_p = Kapasitas kalor spesifik (J/kg °C)

$T_{out\ ct}$ = Temperatur air pendingin yang keluar dari *cooling tower* (°C)

$T_{in\ ct}$ = Temperatur air pendingin yang masuk ke *cooling tower* (°C)

n. Efektifitas *Heat Exchanger*

Efektifitas penukar panas didefinisikan sebagai berikut :

$$\epsilon_{he} = 100 \% \times \frac{q_{he}}{q_{he\ max}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan: ϵ_{he} = Efektifitas *heat exchanger* (%)

q_{he} = Temperatur air masuk (W)

$q_{he\ max}$ = Temperatur air keluar (W)

m. Efisiensi Pompa

Efisiensi pompa didefinisikan daya hidrolik keluaran pompa dibagi dengan daya listrik pompa, daya listrik pompa yaitu :

$$P_{in\ pump} = V \times I \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan: $P_{in\ pump}$ = Daya listrik pompa (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat arus listrik (A)

Persamaan untuk efisiensi pompa yaitu :

$$\eta_{pump} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan: η_{pump} = Efisiensi pompa (%)

P_{in} = Daya listrik pompa (watt)

P_{out} = Daya keluaran pompa (watt)

o. Efisiensi *Fan Cooling Tower*

Efisiensi *fan* didefinisikan daya keluaran pompa dibagi dengan daya listrik *fan*, daya listrik *fan cooling tower* yaitu (Hayt Jr, 2009) :

$$P_{in\ fan} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan: $P_{in\ fan}$ = Daya listrik pompa (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat arus listrik (A)

Persamaan daya keluaran *fan cooling tower* yaitu (Patnaik dan Ali,2013) :

$$P_{out\ fan} = 0,5 \times \rho_{air} \times A \times v_{air}^3 \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan: $P_{out\ fan}$ = Daya listrik pompa (watt)

ρ_{air} = Massa jenis udara (kg/m³)

A = luas penampang (m²)

v_{air} = Massa jenis udara (m/s)

Persamaan untuk efisiensi *fan cooling tower* yaitu :

$$\eta_{fan} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan: η_{pump} = Efisiensi *fan* (%)

P_{in} = Daya listrik *fan* (watt)

P_{out} = Daya keluaran *fan* (watt)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian “Modifikasi Sistem Pendingin Pada *Petrol-engine* CM11 di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang”. Akan dilaksanakan di laboratorium sesuai pada judul penelitian. Dengan periode selama 4 bulan yaitu bulan Maret sampai Juni 2018.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan dalam modifikasi sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11.

3.2.1. Alat

1. *Fan*

Fan yang digunakan untuk penelitian *cooling tower* ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut.

Merk : CKE
Daya Motor : 370 W
Voltase : 380 / 3 / 50 V
Putaran : 960 rpm
Diameter *fan* : 0.50 m



Gambar 3.1 *Fan*

Kapasitas aliran udara maksimum *fan* ditentukan berdasarkan hasil pengukuran kecepatan aliran udara dengan *Lutron* dan di katalog CKE untuk tipe *Drum fan* yang terlampir di Lampiran 2.

2. Pompa air

Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan pengaliran. Hambatan-hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek. Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida. Spesifikasi pompa sebagai berikut :

Merek : Shimizu
Model : PS-226 BIT
Putaran : 2900 rpm
Tegangan : 220 V/ 50 HZ
Arus listrik : 2,2 A
Daya keluaran : 440 W
Daya hisap : 9 meter
Total head : 29-10 meter
Kapasitas : 11-28 liter/menit



Gambar 3.2 Pompa air

3. Lutron

Lutron digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara *fan* pada *cooling tower*, kelembapan udara, suhu udara.

Model : LM-8000A

Range Kecepatan udara : 0,4 m/s -30 m/s
Range Temperatur udara : (0 °C) – (50 °C)
Range Kelembapan : 10 % - 95 %
Range Intensitas cahaya : 0 Lux – 20.000 Lux
Standarisasi : ISO 9001, CE, IEC1010



Gambar 3.3 Lutron

4. Sensor suhu

Sensor suhu digunakan untuk mengukur temperatur air yang masuk dan keluar dari *cooling tower*. Spesifikasi sensor suhu yang digunakan yaitu range temperatur dari (-50°C) - (110°C) dan termokopel Tipe K, beserta alat perekam data yang dapat terhubung ke laptop.



(a)



(b)



(c)

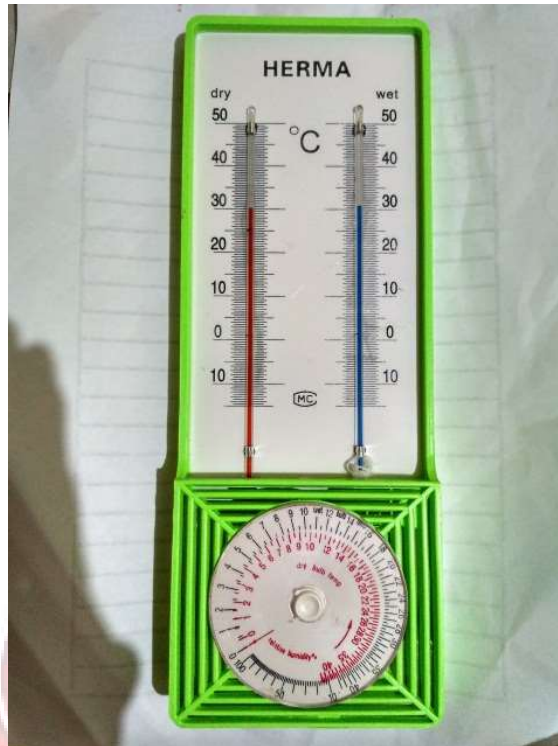


(d)

Gambar 3.4 (a) Sensor yang mengukur *cooling tower*, (b) termokopel Tipe K yang mengukur suhu air masuk-keluar *heat exchanger petrolengine*, (c) alat perekam data temperature dari sensor termokopel, (d) Kabel data USB.

5. *Sling*

Sling digunakan untuk mengukur temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara yang masuk dan keluar menara pendingin serta kondisi udara di lingkungan sekitar *cooling tower*. Temperatur dry bulb dan wet bulb yaitu 0°-50° C.



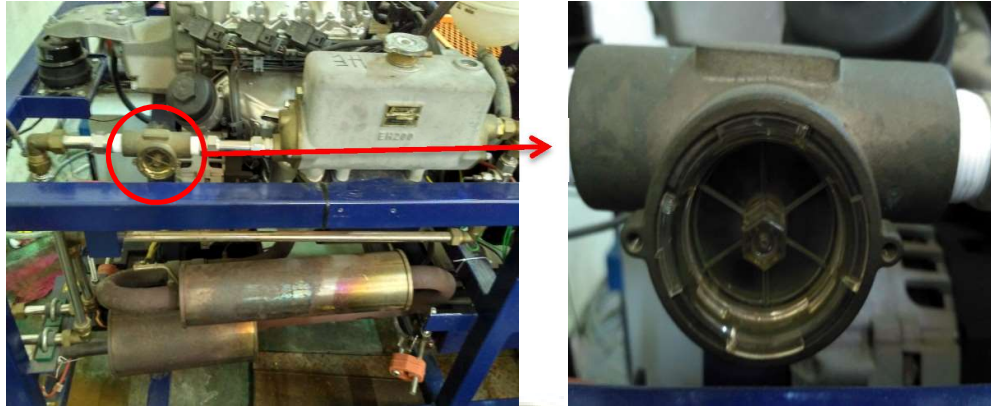
Gambar 3.5 Sling

6. *Flow meter*

Flow meter digunakan untuk mengukur debit air yang bersirkulasi di dalam *cooling tower*. Spesifikasi *Flow meter* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 3.1 *Flow meter*

Sensor Manufacturer Produsen	Kistler
Model	GU13Z-31 and ZF42
Sensitivitas	16 pC/bar
Amplifier Manufacturer	Kistler
Model	5039A322
Range	500 pC = 10V DC



Gambar 3.6 *Flowmeter*

7. Barometer

Barometer hidrolik adalah alat untuk mengukur tekanan air yang dijadikan parameter untuk menentukan daya keluaran pompa air dan efisiensi pompa pada suatu sistem. Barometer terbagi menjadi dua jenis yaitu barometer positif untuk sisi *discharge* dan barometer negatif (vakum) untuk sisi *suction*.



(a)



(b)

Gambar 3.7 (a) Barometer positif, (b) Barometer negatif

8. *Petrol-Engine*

Petrol-engine adalah mesin pembangkit energi yang mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. *Petrol-engine* biasa disebut motor bakar yang menggunakan silinder torak untuk proses konversi energi. Spesifikasi *petrol-engine* CM11 yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Spesifikasi *petrol-engine* CM11

Produsen	Volkswagen
Identifikasi	AER/ATE 111/66
Volume Silinder	999 cm ³
Bore	67,10 mm
Stroke	70,60 mm
Rasio kompresi	10,5 : 1
Output Nominal	37 kW @5000 rpm
Torsi Maks	86 Nm @3400 rpm
Bahan Bakar	95 RON
Sistem Kontrol	Bosch Motronic™ MP9.0
Busi	W8DTC
Volume Oli	3,5 liter
Volume Air Pendingin	4,2 liter

Buku panduan spesifikasi *petrol-engine* terdapat di Lampiran 2.



Gambar 3.8 *Petrol-engine CM11*

9. Multimeter

Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dari suatu rangkaian yang dengan menggunakan kedua *probe* untuk kontak langsung dirangkaian

10. Tang Ampere

Tang ampere digunakan untuk mengukur kuat arus listrik yang dilalui dari suatu kabel yang terhubung dengan sumber listrik.

11. Tachometer

Tachometer digunakan unuk mengukur putaran fan cooling tower yang akan digunakan kembali.

12. Picolog

Picolog digunakan untuk merekam data dengan aplikasi *software* Picolog 5.24 pada dua sensor suhu yang terdapat pada pipa masukan-keluaran *heat exchanger petrol-engine* yang terhubung dengan

laptop. Untuk cara penginstalan dan penggunaannya terdapat di Lampiran 2.

13. Laptop dan Komputer

Laptop digunakan untuk menjalankan aplikasi Picolog 5.24 untuk merekam data temperatur, sedangkan komputer digunakan untuk menjalankan aplikasi *ArmField* untuk menjalankan *petrol-engine*.

3.2.2. Bahan

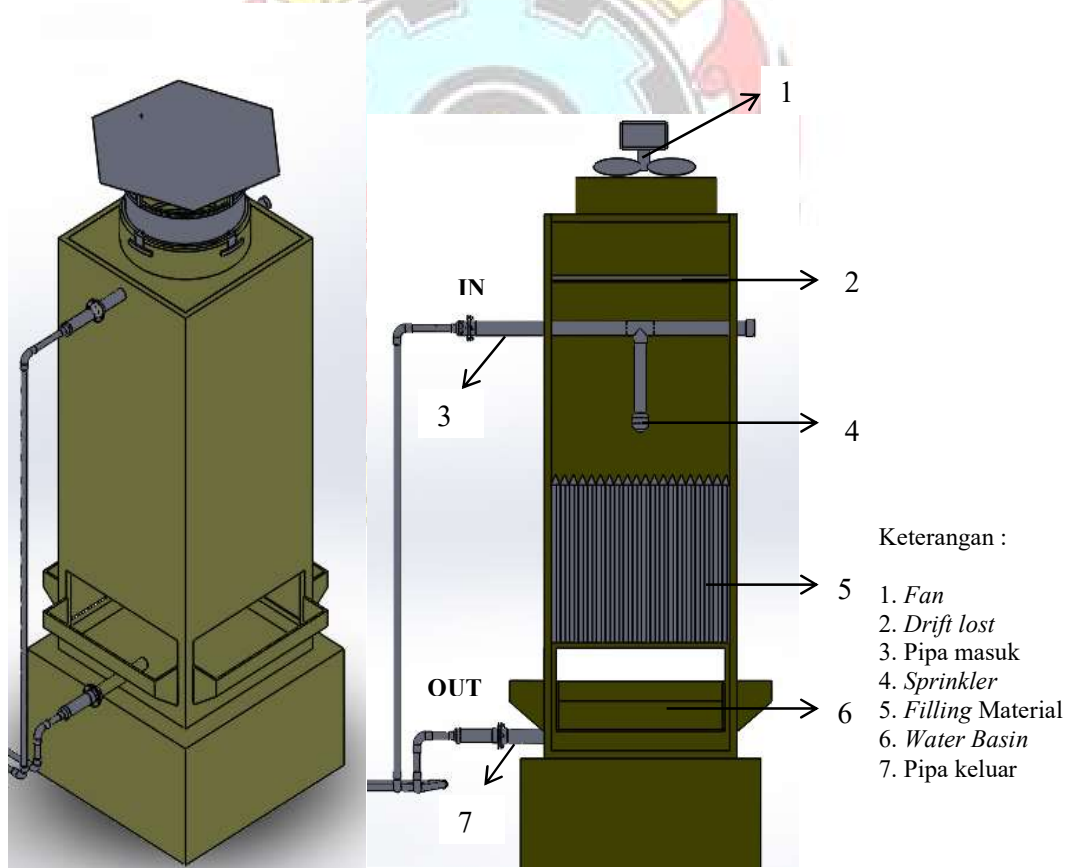
1. *Filling material*
2. Pipa 1 inci (2.54 cm) (6 batang pipa, 1 batang = 4 meter)
3. Elbow Pipa 1 inci (2.54 cm) (10 Elbow pipa)
4. Isolasi pipa (2 roll)
5. Lem Pipa (2 botol)
6. Air (128 liter)
7. *Ball valve* 1 inci (2.54 cm) (2 buah)
8. Plat (81 meter x 81 meter)
9. Fiber
10. Pengaman pipa (16 buah)
11. Baut dan mur (32 buah)
12. MCB C4 (*Miniature circuit breaker*) 4 Ampere (1 buah)
13. Selektor SPDT (1 buah)
14. Kabel NYAF 1 x 2.5 (3 meter)
15. Kabel NYMHY 2 x 2.5 (2,5 meter)
16. Isolasi listrik (1 buah)

3.3. Prosedur / Langkah Kerja (Modifikasi *Cooling Tower*)

3.8.1 Tahap Inspeksi Awal

Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini diantaranya:

- a. Menginspeksi *cooling tower* yang akan dimodifikasi dengan cara melihat kondisi secara langsung; membersihkan *cooling tower* sebelum melakukan modifikasi, memberikan lubang keluaran untuk pemeliharaan *cooling tower*, memastikan motor *fan cooling tower* dapat bekerja dan melihat daya operasi motor, mengecek *fan*
- b. Gambar model *cooling tower* yang akan digunakan.



Gambar 3.9 Desain *Cooling Tower*

3.8.2 Tahap Pemasangan Komponen *Cooling Tower*

Pemanfaatan kembali *cooling tower* ini merupakan pengembangan sistem pendingin saat ini. Kegiatan modifikasi sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11 meliputi tiga tahap utama:

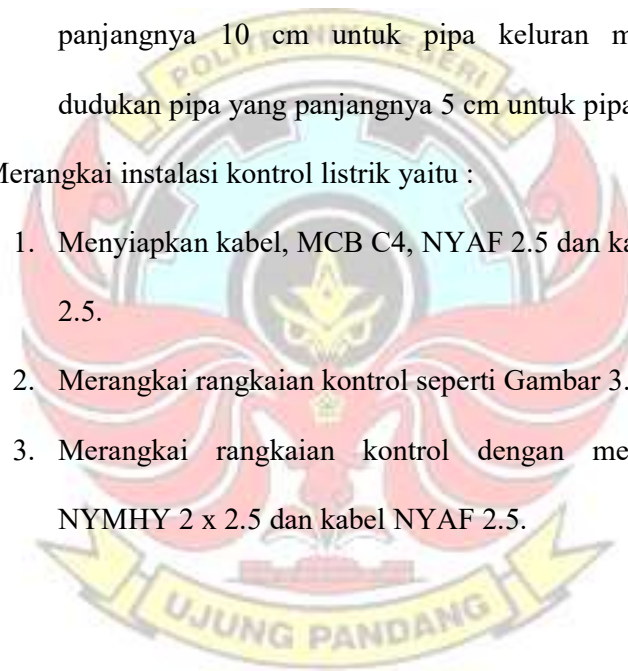
1.) Membuat jalur pemipaan :

1. Menyiapkan pipa 1 inc (2.54 cm) dengan panjang sebagai berikut :
 - 11.68 meter untuk pemasangan jalur pipa masuk ke mesin,
 - 13.82 meter untuk pemasangan jalur pipa keluar dari mesin,
2. Menyiapkan pipa 2 inc (5.05 cm) dengan panjang 6,9 meter sebanyak 2 buah sebagai *header* untuk menahan *back pressure* pada instalasi pemipaan setelah pompa dan setelah keluar dari mesin.
3. Menyiapkan 2 *ballvalve* dan 2 buah barometer yang akan dipasang di sisi masuk dan keluar pompa.
4. Pemasangan pipa dapat dilihat pada Gambar 3.11, jalur pemipaan untuk pemasangan jalur pipa yang masuk ke pompa air dengan panjang jalur 5,60 meter dari bak penampungan *cooling tower*.
5. Pemasangan jalur pipa pada untuk pemasanga jalur pipa yang masuk ke mesin dengan panjang jalur 6.77 meter (sudah termasuk *header*).
6. Memasang *header* pada 0.64 m keluaran pompa.
7. Pemasangan *Gate valve* dengan panjang 0,34 meter dari keluaran pompa pompa air.
8. Pemasangan jalur pipa yang masuk ke *cooling tower* dengan panjang 13.82 meter dari keluaran mesin (sudah termasuk *header*).

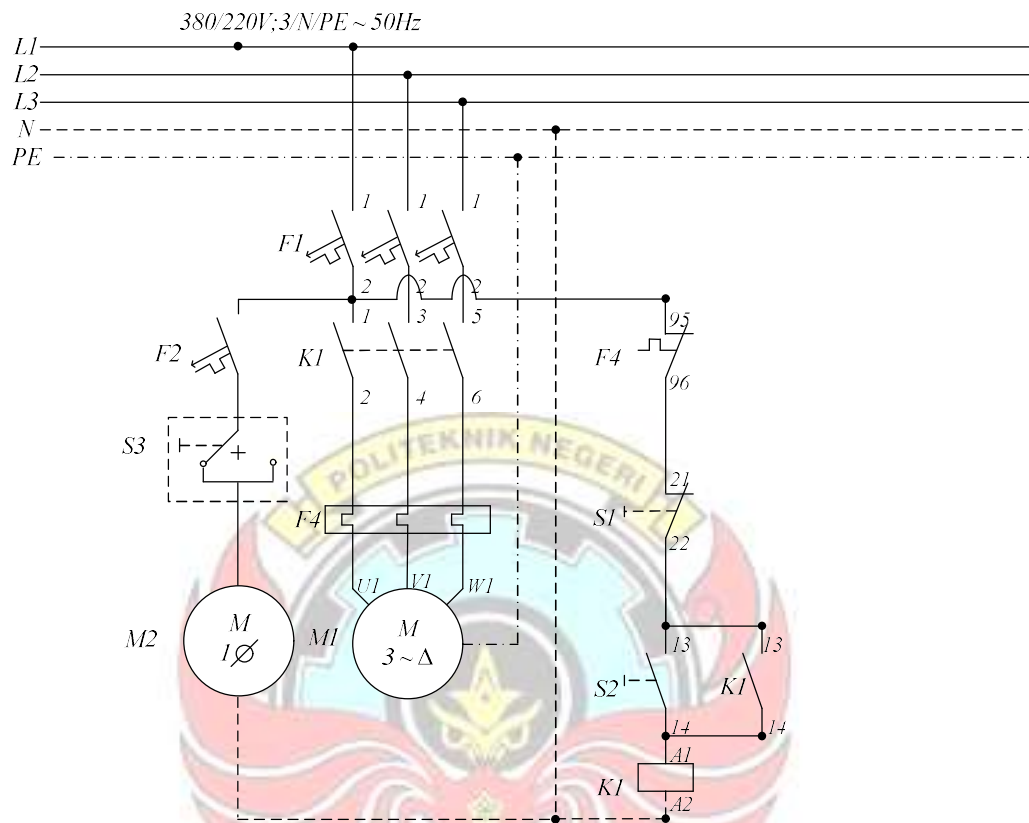
9. Memasang *header* yang lainnya pada 0.27 m keluaran mesin.
 10. Memasang sensor suhu untuk setiap pipa masuk dan keluar *cooling tower*.
 11. Memasang barometer untuk setiap pipa masuk dan keluar pompa air.
- 2.) Membuat *filter* pada *inlet* udara *cooling tower* :
1. Menyiapkan besi tulangan dengan panjang 65 cm sebanyak 8 batang, besi tulangan dengan panjang 23 cm sebanyak 8 batang, besi tulangan dengan panjang 16 cm sebanyak 8 batang, besi strip 3x2 cm sebanyak 16 batang dan besi rang sebanyak 4 lembar dengan masing masing luas 65x16 cm dan 10 x16 cm.
 2. Bending tiap-tiap besi tulangan yang panjangnya 23 cm menjadi 10 cm pada posisi horizontal dan 13 cm pada posisi vertical.
 3. Mengebor besi strip dengan mata bor 10 milimeter.
 4. Mengelas besi tulangan menjadi sebuah rangka untuk *filter* pada *inlet* udara *cooling tower*.
 5. Memasang besi rang pada rangka.
- 3.) Membuat dudukan pipa
1. Menyiapkan plat ukuran 10 x 3,5 x 0,4 cm, pipa galvanis ukuran 0,5 inci dengan panjang 5 cm dan 10 cm masing-masing 10 buah, dan baut Fitzer sebanyak 10 buah.
 2. Mengebor plat 10 x 3,5 x 0,4 cm dengan membuat dua lubang yang presisi dengan lubang sadel untuk 10 plat menggunakan

mata bor 8 dan . mengebor plat yang menempel di dinding dengan mata bor 10.

3. Mengelas plat untuk sadel pipa dan plat yang menempel di dinding yang diantarai oleh pipa galvanis ukuran 10 cm dan 5 cm.
 4. Memasang dudukan pipa di dinding dengan letak yang telah lubang menggunakan baut Fitzer. Pada dudukan pipa yang panjangnya 10 cm untuk pipa keluran mesin, sedangkan dudukan pipa yang panjangnya 5 cm untuk pipa masukan mesin.
- 4.) Merangkai instalasi kontrol listrik yaitu :
1. Menyiapkan kabel, MCB C4, NYAF 2.5 dan kabel NYMHY 2 x 2.5.
 2. Merangkai rangkaian kontrol seperti Gambar 3.10
 3. Merangkai rangkaian kontrol dengan menggunakan kabel NYMHY 2 x 2.5 dan kabel NYAF 2.5.



3.4 Rangkaian Kontrol Pompa dan Fan



Gambar 3.10 Rangkaian Kontrol Daya Pompa dan Fan

Komponen pada rangkaian kontrol terdiri dari komponen dari kontrol dan daya. Komponen-komponen seperti *mini circuit breaker* (F₁, F₂), *Thermal Overload Relay* (TOR) (F₄), *push button* (S₁, S₂), kontaktor (K₁), Selektor SPTD (S₃), motor pompa air (M₂), motor *fan cooling tower* (M₁).

Awal mula pengoperasian menaikkan MCB dari posisi off ke posisi on, setelah itu menjalankan motor pompa air (M₂) dengan memutar selector (S₃) ke atas atau ke bawah. Setelah itu, menekan *push button* (S₂) untuk menjalankan

motor *fan cooling tower* (M_1), yang mana kontaktor bekerja (K_1) menutup rangkaian yang mengakibatkan rangkian kontrol *fan cooling tower* bekerja.

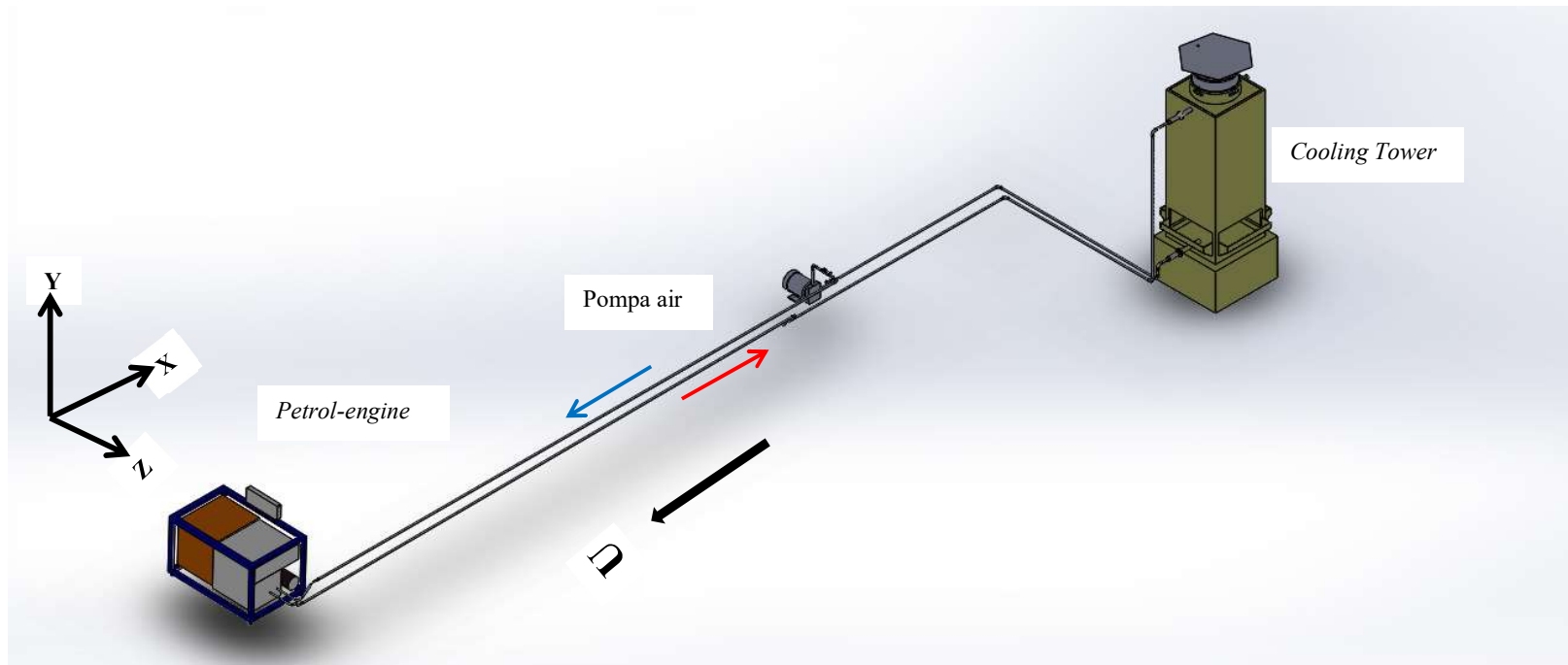
Cara untuk mematikan motor *fan cooling tower* (M_1) dengan menekan *push button* (S_1) yang mana kontaktor membuka rangkaian yang mengakibatkan rangkaian kontrol *fan cooling tower* mati dan untuk mematikan motor pompa air (M_2) dengan memposisikan selektor di posisi tengah.

3.5 Merakit Sistem Alat Pengujian

Proses perakitan terdiri dari beberapa tahap yaitu :

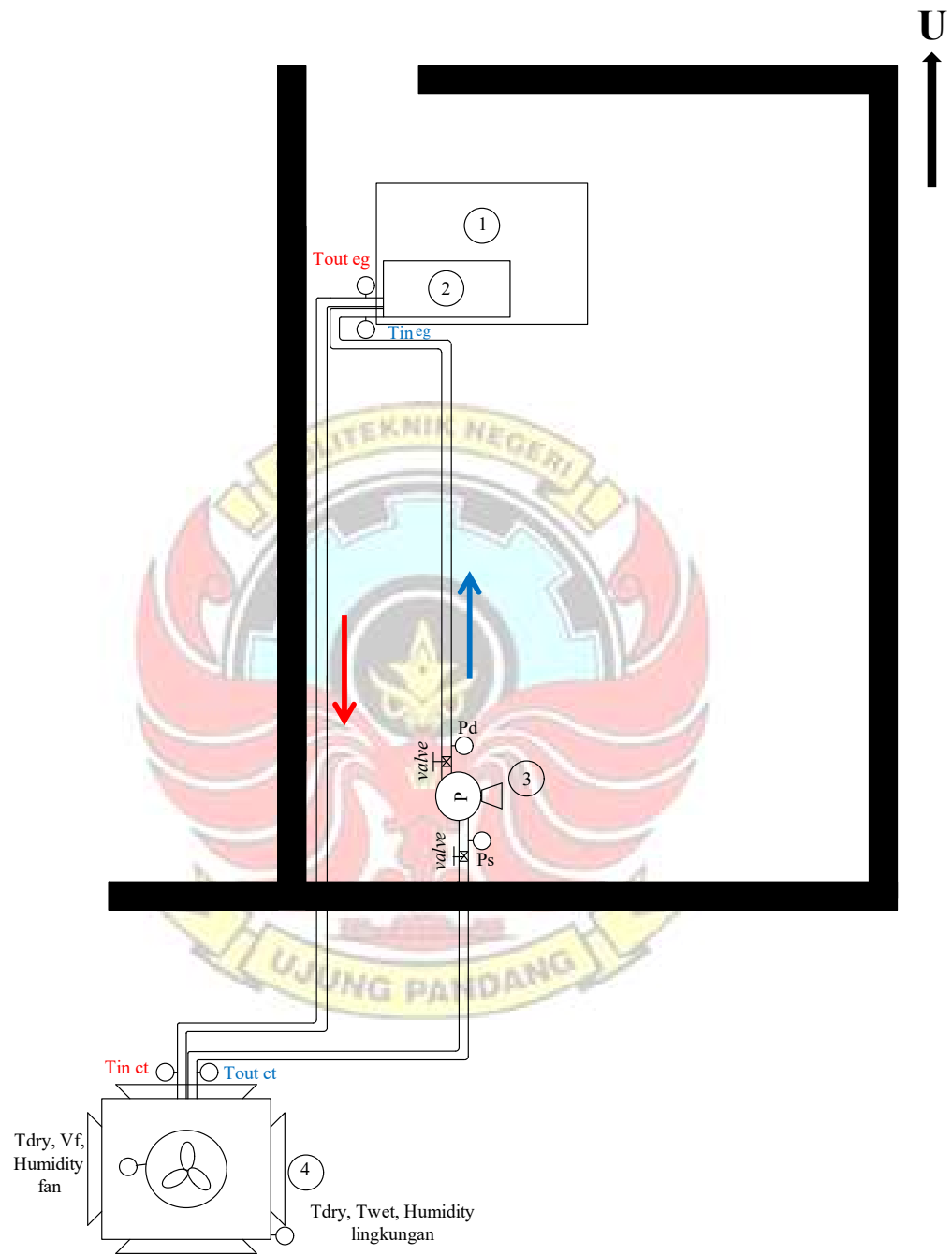
1. Mengumpulkan masing-masing komponen untuk dirakit, seperti *fan*, pompa dan instalasi pemipaan yang akan dihubungkan ke mesin *petrol-engine* dan *cooling tower*.
2. Menyambungkan pompa air dengan sistem pemipaan pada *cooling tower*
3. Menghubungkan bagian kelistrikan pompa dan *fan* dibagian panel kontrol.
4. Memasang sadel pipa kemudian memasang baut 8 sebagai pengancing sadel pada instalasi pipa.
5. Memasang *filter* udara pada *cooling tower*.

3.6 Skema Pemasangan



Gambar 3.11 Skema Pemasangan

3.7 Skema Pengujian



Gambar 3.12 Skema Pengujian

Keterangan:

1. *petrol-engine*
2. radiator
3. pompa air
4. *Cooling tower*
5. P_d (*pressure discharge*)
6. P_s (*pressure discharge*)
7. $T_{in\ ct}$ (temperatur air masuk *cooling tower*)
8. $T_{out\ ct}$ (temperatur air keluar *cooling tower*)
9. $T_{in\ eg}$ (temperatur air masuk *engine*)
10. T_3 (temperatur udara sekitar)

3.8 Langkah-Langkah Pengujian

3.8.1 Pengujian Pompa dan *Fan*.

1. Memastikan semua rangkaian listrik pompa dan *fan* telah terhubung dengan sumber listrik.
2. Memastikan katup pompa terbuka pada instalasi pemipaan *cooling tower*.
3. Menjalankan pompa dengan memutar selektor .
4. Mencatat nilai tekanan pompa (P_s dan P_d).
5. Menjalankan *fan* dengan menekan *push-button*.
6. Mengukur dan mencatat tegangan *fan* dengan menggunakan multimeter.
7. Mengukur kuat arus *fan* dengan menggunakan tang ampere.
8. Mengukur daya *fan* dengan menggunakan wattmeter.
9. Mengukur putaran *fan* dengan menggunakan tachometer.

10. Mencatat laju aliran udara *fan* di sisi masukan udara dan sisi keluaran udara dengan menggunakan *Lutron*.
11. Mematikan pompa dan *fan* pada panel.
12. Memasukkan data hasil pengamatan ke Lampiran 1 Tabel A.1

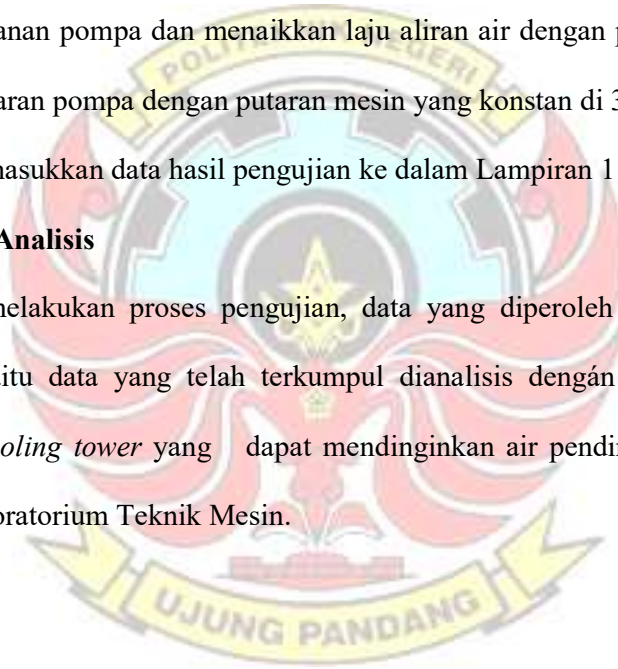
3.8.2 Pengujian *Cooling Tower*

1. Menyiapkan alat yang diperlukan dalam proses pengujian.
2. Memastikan semua katup untuk masukan dan keluaran mesin terbuka.
3. Mengoperasikan *cooling tower* dengan menjalankan pompa dan menjalankan *fan cooling tower*.
4. Menjalankan mesin yang terhubung langsung dengan komputer. Setelah itu lihat kolom laju aliran *coolant*, atur bukaan katup untuk berada >12 ltr/mnt. Atur mesin untuk beroperasi diputaran 3000 rpm dan torsi . Prosedur pengoperasian mesin dapat dilihat di Lampiran 2 .
5. Menjalankan program Picolog 5.24 pada laptop yang terhubung langsung dengan sensor suhu dengan kabel data USB. Prosedur pengoperasian Picolog 5.24 terdapat pada Lampiran 2.
6. Mencatat nilai tekanan pompa (P_s dan P_d).
7. Mencatat temperatur air dengan menggunakan sensor suhu yang terhubung dengan pipa.
8. Mencatat laju aliran air dengan melihat *flowmeter* sebagai variable yang divariasikan.
9. Mencatat temperatur dan kelembapan di luar area *cooling tower* dengan menggunakan *Lutron* .

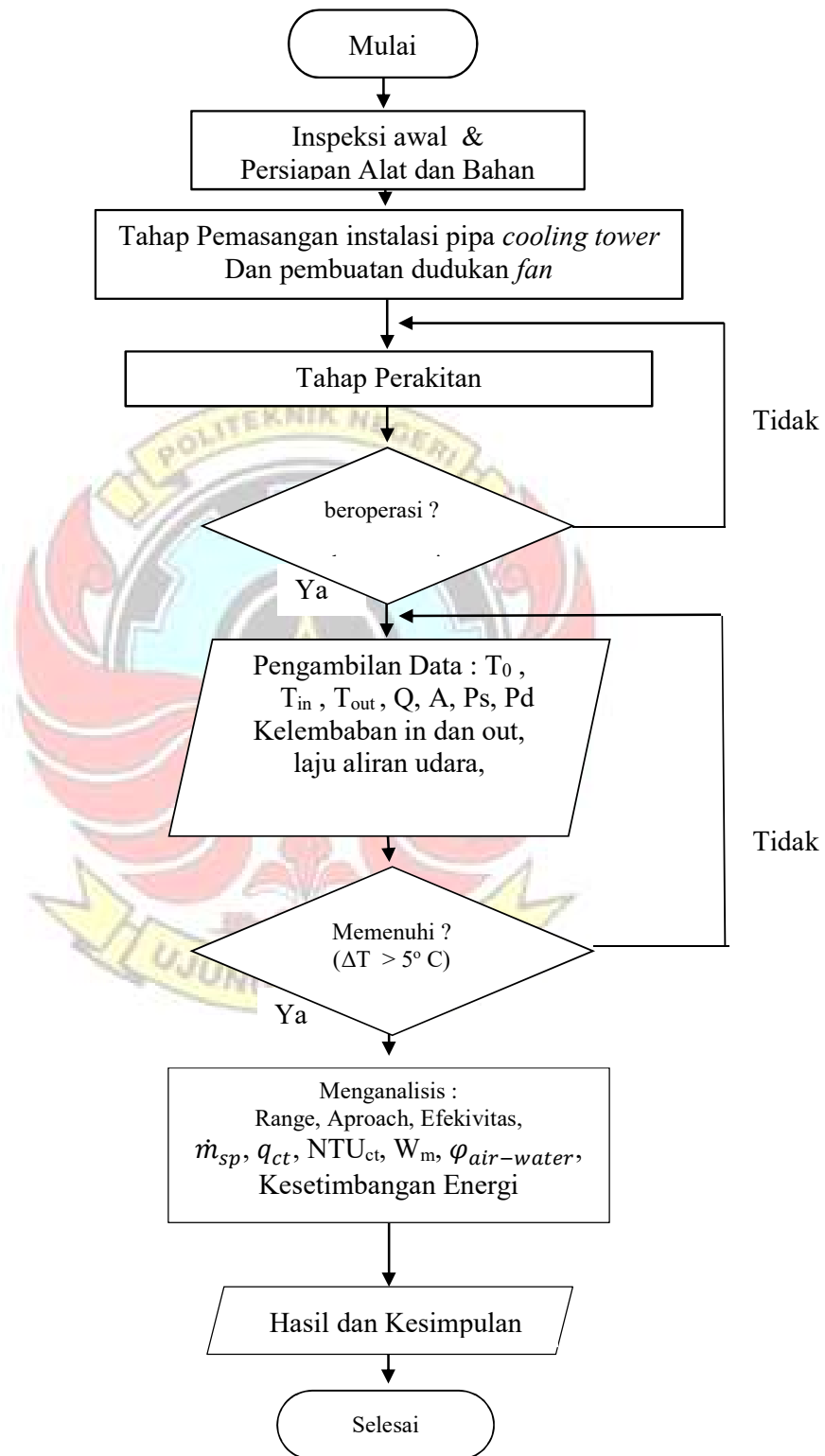
10. Mencatat temperatur bola basah dan bola kering di luar area *cooling tower* dengan menggunakan *sling*.
11. Mencatat temperatur air *inlet* dan *outlet* radiator *petrol-engine* dengan menggunakan termometer.
12. Mencatat laju aliran udara *fan* di sisi masukan udara dan sisi keluaran udara dengan menggunakan *Lutron*.
13. Mengulangi langkah 3 – 8 yang disesuaikan temperatur air $< 40^{\circ}\text{C}$ untuk kamanan pompa dan menaikkan laju aliran air dengan pembukaan katup keluaran pompa dengan putaran mesin yang konstan di 3000 rpm.
14. Memasukkan data hasil pengujian ke dalam Lampiran 1 Tabel A.2.

3.9 Metode Analisis

Setelah melakukan proses pengujian, data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif, yaitu data yang telah terkumpul dianalisis dengan membandingkan efektivitas *cooling tower* yang dapat mendinginkan air pendingin pada *petrol-engine* di laboratorium Teknik Mesin.



3.10 Diagram Alir Tugas Akhir



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Pengujian terhadap *cooling tower* yang mendinginkan *petrol-engine* dengan memvariasikan laju aliran air (Q_{pp}) dan mengkonstantakan parameter putaran *petrol-engine* seperti dalam Tabel A.2 pada Lampiran 1.

4.2 Analisis Sistem Pendingin

Analisis sistem pendingin yang dianalisis yaitu pada data ke-3 untuk debit air 20 liter/mnt pada data ke-30 Tabel A.2 pada Lampiran 1. Adapun bagian-bagian sistem pendingin yang dianalisis yaitu instalasi pemipaan, kinerja pendinginan *petrol-engine* dan kinerja *cooling tower*.

4.2.1 Analisis Instalasi Pemipaan

Data parameter tekanan *suction* (P_s) dan tekanan *discharge* (P_d), temperatur air ($T_{1,2}$), debit aliran air, selisih tekanan statis (z). Yang diperoleh pada saat Pengujian dianalisis untuk menentukan kecepatan air (v_w), bilangan Reynolds (R_{cw}) dan jenis aliran, kerugian mayor (h_{fl}), kerugian minor (h_k), Head total (H_{total}), daya hidrolis pompa (P_{pp}), daya input pompa (P_{in}) dan efisiensi pompa (η_{pump}) sebagai berikut:

1. Kecepatan air (v_w)

$$v_w = \frac{Q_{pp}}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Dimana :

$$D = 27 \text{ mm}, Q_{pp} = 20,7 \text{ liter/mnt}$$

Peyelesaian:

$$v_w = \frac{\frac{20,7 \text{ m}^3/\text{s}}{1000 \times 60}}{\frac{\pi (27 \times 0,001 \text{ m})^2}{4}},$$

$$v_w = 0,60 \text{ m/s}$$

2. Bilangan Reynolds (Re) dan jenis aliran

$$R_{ew} = \frac{\rho \times D \times v_w}{\mu},$$

Dimana:

$$\rho = 992,5 \text{ kg/m}^3,$$

$$\mu = 6,69 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s (38,88 } ^\circ\text{C)}$$

Peyelesaian:

$$R_{ew} = \frac{992,5 \text{ kg/m}^3 \times (27 \times 0,001 \text{ m}) \times 0,60 \text{ m/s}}{6,69 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}}$$

$$R_{ew} = 24136,25, \text{ Jenis aliran Turbulen.}$$

3. Kerugian mayor

$$h_{fl} = \frac{f \times L \times v^2}{2 \times D \times g},$$

Dimana:

$$f = 0,0249516 \quad (\text{Diagram Moody})$$

$$L = 26,23 \text{ m}, \quad (\text{Pipa Keluar Cooling Tower} = 12,28 \text{ m}, \\ \text{Pipa Masuk Cooling Tower} = 14,42 \text{ m})$$

Penyelesaian:

$$h_{fl} = \frac{0,0249516 \times 26,23 \text{ m} \times (0,60 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,027 \text{ m} \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{fl} = 0,44 \text{ m}$$

4. Kerugian minor

$$h_k = k \frac{v^2}{2 \times g},$$

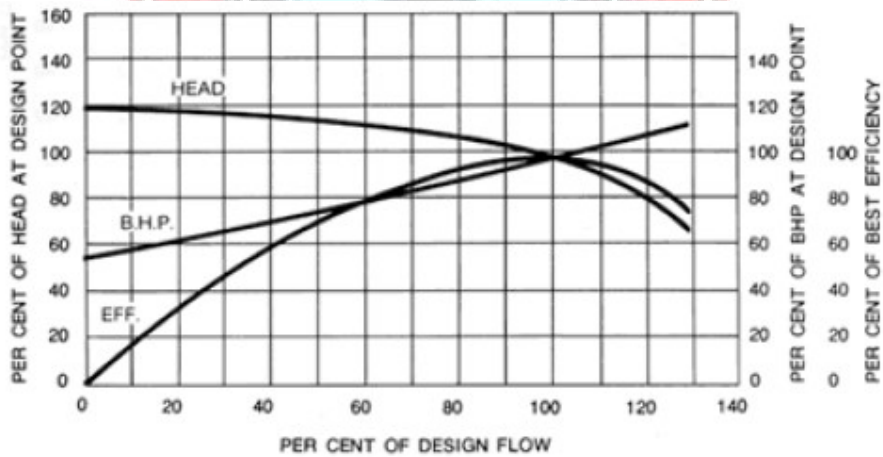
Dimana:

k untuk elbow $90^\circ = 0.8 \times 10$ unit

Penyelesaian:

$$h_k = (0,8 \times 10) \frac{(0,60 \text{ m/s})^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_k = 0,14 \text{ m}$$



Gambar 4.1 Karakteristik pompa

5. Head total

$$H_{total} = H_{sd} - h_{f_l} - h_k,$$

$$H_{total} = 19 \text{ m} - 0,44 \text{ m} - 0,14 \text{ m}$$

$$H_{total} = 18,42 \text{ m}$$

Spesifikasi pompa

$$H_d = 10 \text{ m}$$

$$H_s = 9 \text{ m}$$

$$H_{sd} = H_s + H_d = 19 \text{ m}$$

6. Daya hidrolis pompa

$$P_{pp} = \rho \times Q_{pp} \times g \times H_{total} ,$$

Dimana:

$$Q_{pp} = 55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} = 33 \text{ liter/menit (Maksimum Pompa)}$$

$$P_{pp} = 995,8 \text{ kg/m}^3 \times 55 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 18,42 \text{ m}$$

$$\mathbf{P_{pp} = 98,86 \text{ watt}}$$

7. Daya input pompa

$$P_{in} = V \times I \times \cos \Phi$$

$$P_{in} = 222 \text{ volt} \times 1,86 \text{ A} \times 0,85$$

$$\mathbf{P_{in} = 350,98 \text{ watt}}$$

8. Efisiensi pompa

$$\eta_{pump} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

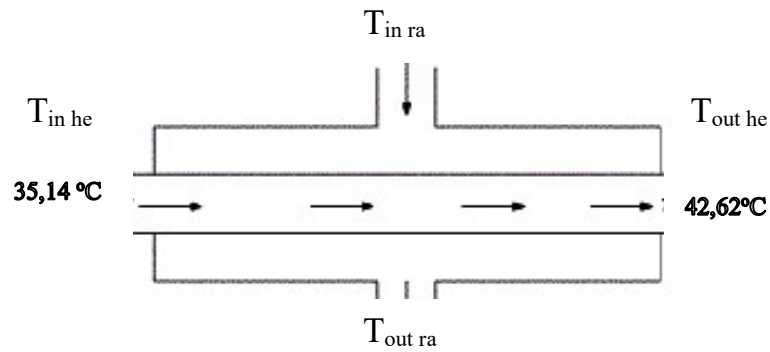
$$\eta_{pump} = \frac{98,86 \text{ watt}}{350,98 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\mathbf{\eta_{pump} = 28,16 \%}$$

4.2.2 Analisis Kinerja Pendinginan *Petrol-engine*

Nilai dari parameter-parameter yang diketahui yaitu temperatur *inlet* air pendingin pada *petrol-engine* (T_2) dan temperatur *outlet* pada *petrol-engine* (T_3), debit aliran air pendingin (Q_{pp}), debit aliran bahan bakar (Q_{fl}), massa jenis bahan bakar (ρ_{fl}), daya poros (P_s), putaran (n), torsi (τ).

Parameter-parameter yang dari perhitungan kinerja pendinginan *petrol-engine* yaitu laju perpindahan panas *heat exchanger petrol-engine* (q_{he}), laju konsumsi bahan bakar *petrol-engine* (q_{bb}), *specification fuel consumption* (SFC), dan efisiensi *petrol-engine* (η_{pe}).



Gambar 4.2 Diagram Alir *Heat Excheher*

1. Laju perpindahan panas *heat exchanger petrol-engine*

$$q_{he} = \dot{m}_{wct} \times c_p \times (T_{out\ he} - T_{in\ he}) ,$$

Dimana:

$$\dot{m}_{wct} = 0,34 \text{ kg/s,}$$

$$c_p = 4174 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \text{ (38,88}^\circ\text{C)}$$

$$T_2 = 35,14 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 42,62 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_3 - T_2 = 7,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q_{he} = 0,34 \text{ kg/s} \times 4174 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 7,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_{he} = 10,69 \text{ kW}$$

2. Laju konsumsi bahan bakar *petrol-engine*

$$q_{bb} = Q_{fl} \times \rho_{fl} \times LHV ,$$

Dimana:

$$Q_{fl} = 2,33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rho_{fl} = 737 \text{ kg/m}^3$$

$$LHV = 44,791 \text{ MJ/kg}$$

Penyelesaian:

$$q_{bb} = 2,33 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \times 737 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 44791 \text{ J}/\text{kg}$$

$$q_{bb} = 7,70 \text{ kW}$$

3. *Specification fuel consumption (SFC)*

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{P_s}$$

Dimana:

$$\dot{m}_{bb} = 14 \times 737 \times 60 \times 10^{-3} = 619,08 \text{ g}/\text{H}$$

$$P_s = 2,94 \text{ kW}$$

Penyelesaian:

$$SFC = \frac{619,08 \text{ g}/\text{H}}{2,94 \text{ kW}}$$

$$SFC = 210,57 \text{ g}/\text{kWH}$$

4. Efisiensi *petrol-engine* (η_{pe})

$$\eta_{pe} = \frac{P_s}{q_{bb}} \times 100\%$$

$$\eta_{pe} = \frac{2,94 \text{ kW}}{7,70 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\eta_{pe} = 38,16 \%$$

4.2.3 Analisis Kinerja *Cooling tower*

Nilai dari parameter-parameter yang diketahui yaitu temperatur *outlet* air pendingin pada *cooling tower* (T_1) dan temperatur *inlet* air pendingin pada *cooling tower* (T_4), debit aliran air pendingin (Q_{pp}), temperatur *dry-bulb* pada udara ambient (T_{db}), temperatur *wet-bulb* pada udara ambient (T_{wb}), *humidity ratio inlet* udara pada *cooling tower* (RH_1), *humidity ratio outlet* udara pada *cooling tower* (RH_2).

Parameter-parameter yang akan diperoleh dari perhitungan kinerja pendinginan *cooling tower* yaitu *range* (ΔT), *Approach* (T_{app}), Efektivitas *cooling tower* (ϵ_{ct}), kapasitas panas *cooling tower* (q_{he}), kapasitas panas spesifik *cooling tower* (q_{sp}), laju aliran massa air pendingin (\dot{m}_w), laju aliran massa air pendingin spesifik (\dot{m}_{sp}), laju aliran massa udara (\dot{m}_a), laju *make up water* (W_m), ratio air-udara ($\varphi_{air-water}$), energi yang serap oleh udara pada *cooling tower* ($q_{a out}$), *number of transfer unit* pada *cooling tower* (NTU).

1. *Range*

$$\Delta T = T_4 - T_1$$

Dimana:

$$T_1 = 35,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 41,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$\Delta T = 41,7 \text{ } ^\circ\text{C} - 35,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \mathbf{6,4 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

2. *Approach*

$$T_{app} = T_1 - T_{wb}$$

Dimana:

$$T_{wb} = 27^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$T_{app} = 35,3 \text{ } ^\circ\text{C} - 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{app} = \mathbf{8,3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

3. Efektivitas *cooling tower* (ϵ_{ct})

$$\epsilon_{ct} = \frac{T_4 - T_1}{T_4 - T_{wb}} \times 100\%$$

$$\epsilon_{ct} = \frac{6,4 \text{ }^\circ\text{C}}{41,7 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C}} \times 100\%$$

$$\epsilon_{ct} = \mathbf{43,53 \text{ \%}}$$

4. Kapasitas panas *cooling tower* (q_{ct})

$$q_{ct} = \dot{m}_{wct} \times c_p \times (T_{in \text{ ct}} - T_{out \text{ ct}})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{wct} = 0,34 \text{ kg/s,}$$

$$c_p = 4174 \text{ J/kg}^\circ\text{C} (38,5^\circ\text{C})$$

$$T_1 = 35,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 = 41,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_4 - T_1 = 6,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Penyelesain:

$$q_{ct} = 0,34 \text{ kg/s} \times 4174 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \times 6,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$q_{ct} = \mathbf{9,15 \text{ kW}}$$

5. Kapasitas panas spesifik *cooling tower* (q_{sp})

$$q_{sp} = \frac{q_{ct}}{A_{tower}}$$

Dimana:

$$A_{tower} = 0,64 \text{ m}^2$$

Penyelesaian:

$$q_{sp} = \frac{9,15 \text{ kW}}{0,64 \text{ m}^2}$$

$$q_{sp} = \mathbf{14,29 \text{ kW/m}^2}$$

6. Laju aliran massa air pendingin (\dot{m}_w)

$$\dot{m}_w = Q_{pp} \times \rho$$

Dimana:

$$\rho = 993 \text{ kg/m}^3 (38,5^\circ\text{C})$$

Penyelesaian:

$$\dot{m}_w = 34,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \times 993 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_w = \mathbf{0,34 \text{ kg/s}}$$

7. Laju aliran massa air pendingin spesifik

$$\dot{m}_{sp} = \frac{\dot{m}_w}{A_{tower}}$$

$$\dot{m}_{sp} = \frac{0,34 \text{ kg/s}}{0,64 \text{ m}^2}$$

$$\dot{m}_{sp} = \mathbf{0,53 \text{ kg/m}^2\text{s}}$$

8. Laju aliran massa udara fan (\dot{m}_a)

$$\dot{m}_a = Q_{pp} \times \rho_u$$

Dimana:

$$Q_u = 7139 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (katalog fan)}$$

$$\rho_u = 1,15 \text{ kg/m}^3 (38,5^\circ\text{C})$$

Penyelesaian:

$$\dot{m}_a = \frac{7139}{3600} \text{ m}^3/\text{s} \times 1,1584 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_a = \mathbf{2,29 \text{ kg/s}}$$

9. Laju make up water (W_m)

$$W_m = W_e + W_d + W_b$$

Dimana :

$$W_e = 0,00083 (Q_{pp} \times \Delta T) \times 3600$$

$$W_e = 0,00083 (34,5 \times 10^{-5} \times 6,4) \times 3600$$

$$W_e = 0,006756 \text{ m}^3/h$$

dan

$$W_d = 0,0002 \times W_e$$

$$W_d = 0,0002 \times 0,006756$$

$$W_d = 1,3513 \text{ E-}06 \text{ m}^3/H$$

Penyelesaian:

$$W_m = 0,006756 \text{ m}^3/h + 1,3513\text{E-}06 \text{ m}^3/h$$

$$W_m = \mathbf{0,006 \text{ m}^3/h}$$

10. Ratio air-udara ($\varphi_{air-water}$)

$$\varphi_{air-water} = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} \times 100\%$$

$$\varphi_{air-water} = \frac{0,34 \text{ kg/s}}{2,29 \text{ kg/}} \times 100\%$$

$$\varphi_{air-water} = \mathbf{14,91 \%}$$

11. Daya keluaran fan

$$P_{out \text{ fan}} = 0,5 \times \rho_{air} \times A \times v_{air}^3 ,$$

Dimana:

$$v_{air} = 8,6 \text{ m/s}$$

$$A = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ m}^2$$

$$\rho_{air} = 1,1584 \text{ kg/m}^3 \text{ (} 32,3 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Penyelesaian:

$$P_{out\ fan} = 0,5 \times 1,1584 \text{ kg/m}^3 \times 0,196 \text{ m}^2 \times (8,6 \text{ m/s})^3$$

$$P_{pp} = 42,73 \text{ watt}$$

12. Daya input fan

$$P_{in\ fan} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$$

$$P_{in\ fan} = \sqrt{3} \times 387,6 \text{ volt} \times 0,52 \text{ A}$$

$$P_{in} = 279,28 \text{ watt}$$

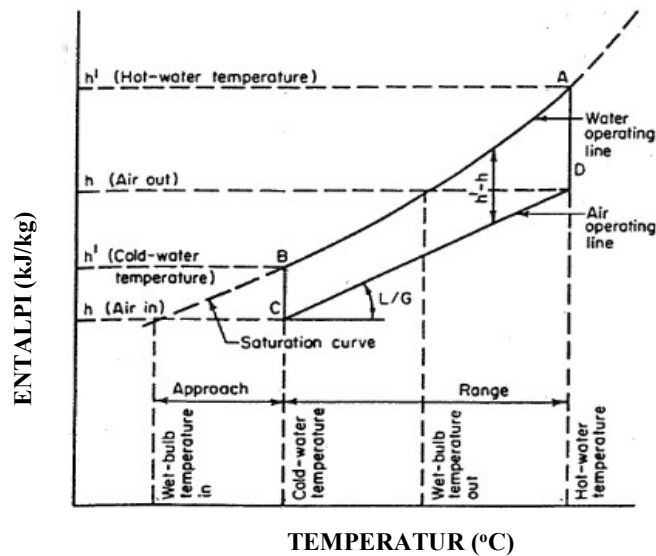
13. Efisiensi fan

$$\eta_{fan} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta_{fan} = \frac{42,73 \text{ watt}}{279,28 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$\eta_{fan} = 25,86 \%$$

14. Energi yang diserap oleh udara pada cooling tower (q_a out)



Gambar 4.3 Grafik entalpi air dan udara Cooling tower

(Sumber: Perry, 2008)

$$q_{a\ out} = \dot{m}_a \times \Delta h_a$$

Dimana:

$$h_{a\ in} = 82,17\ \text{kJ/kg},$$

$$(T_{ab} = 32,3\ \text{°C}, RH_1 = 62,8\ \%)$$

$$h_{a\ out} = 96,50\ \text{kJ/kg},$$

$$(T_{fan} = 32,3\ \text{°C}, RH_2 = 80,2\ \%)$$

Penyelesaian:

$$q_{a\ out} = 2,29\ \text{kg/s} \times (96,50 - 82,17)\ \text{kJ/kg}$$

$$q_{a\ out} = \mathbf{32,92\ kW}$$

15. Number of transfer unit pada cooling tower (NTU)

$$NTU_{ct} = \frac{k_{\omega} \times a \times V}{\dot{m}_w} = \int_{T_{out}}^{T_{in}} \frac{c_w \times dT_w}{h_s - h}$$

Dengan menggunakan metode Chebyshev (Perry, 2008),

$$NTU_{ct} = \int_{T_{out}}^{T_{in}} \frac{c_w \times dT_w}{h_s - h} \equiv \frac{T_4 - T_1}{4} \left(\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right)$$

$$NTU_{ct} = \frac{T_4 - T_1}{4} \left(\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4} \right)$$

Dimana:

$$T_1 = 35,3\ \text{°C}, \quad T_4 = 41,7\ \text{°C},$$

$$\Delta T = 6,4\ \text{°C},$$

- $T_1 + 0,1(\Delta T) = 35,94\ \text{°C}, h_{s1} = 135,804\ \text{kJ/kg}$
- $T_1 + 0,4(\Delta T) = 37,86\ \text{°C}, h_{s2} = 149,674\ \text{kJ/kg}$
- $T_4 - 0,4(\Delta T) = 39,14\ \text{°C}, h_{s3} = 159,649\ \text{kJ/kg}$
- $T_4 - 0,1(\Delta T) = 41,06\ \text{°C}, h_{s4} = 175,806\ \text{kJ/kg}$

$$h_{a1} = 82,172 \text{ kJ/kg} \qquad h_{a2} = 96,503 \text{ kJ/kg}$$

$$L/G = \frac{(h_{a2} - h_{a1})}{(T_{w4} - T_{w1})} = 2,239$$

- $h_{sa} = h_{a1} + 0,1\left(\frac{L}{G}\right)(\Delta T) = 83,608 \text{ kJ/kg},$

- $h_{sa2} = h_{a1} + 0,4\left(\frac{L}{G}\right)(\Delta T) = 87,904 \text{ kJ/kg},$

- $h_{sa} = h_{a2} - 0,4\left(\frac{L}{G}\right)(\Delta T) = 90,771 \text{ kJ/kg},$

- $h_{sa3} = h_{a2} - 0,1\left(\frac{L}{G}\right)(\Delta T) = 95,070 \text{ kJ/kg},$

$$1/\Delta h_1 = 0.0191 \text{ kJ/kg}, \qquad 1/\Delta h_2 = 0.0161 \text{ kJ/kg},$$

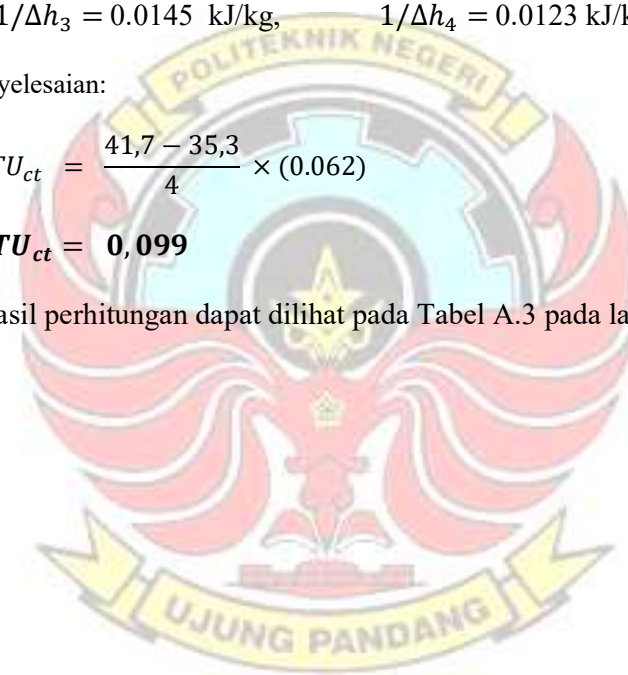
$$1/\Delta h_3 = 0.0145 \text{ kJ/kg}, \qquad 1/\Delta h_4 = 0.0123 \text{ kJ/kg},$$

Peyelesaian:

$$NTU_{ct} = \frac{41,7 - 35,3}{4} \times (0.062)$$

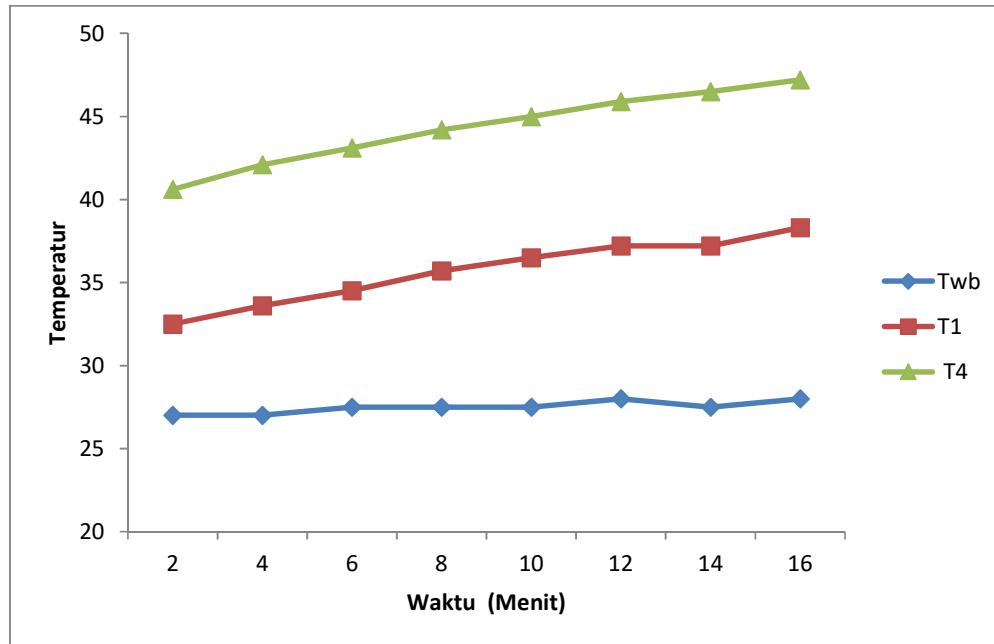
$$NTU_{ct} = \mathbf{0,099}$$

Data hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel A.3 pada lampiran 1.



4.3 Grafik dan Pembahasan

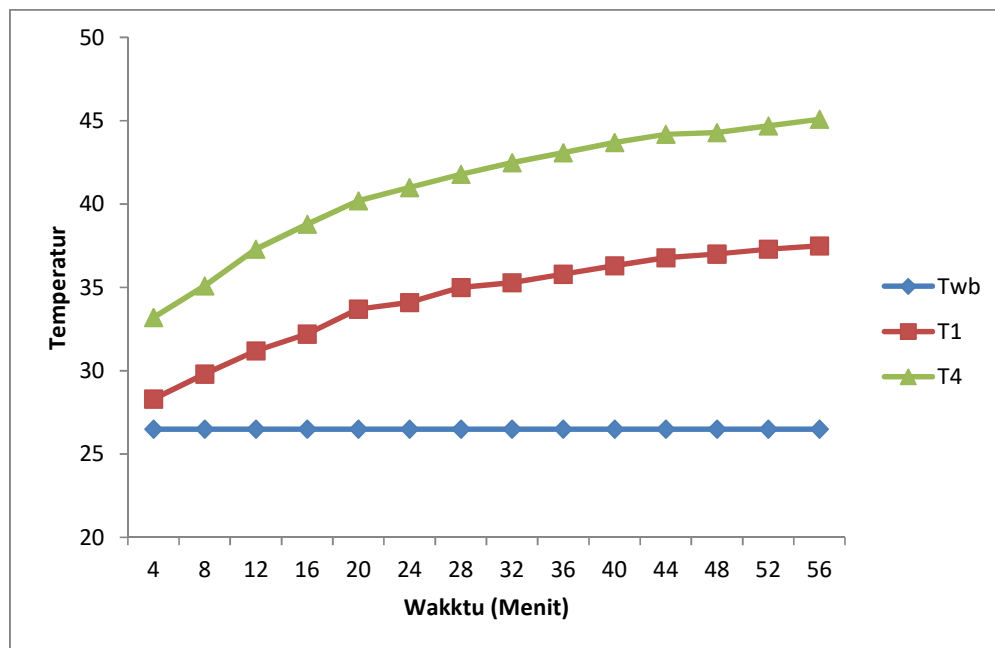
4.3.1 Grafik Hubungan antara Temperatur Air *Cooling Tower* dan Waktu



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin T_1 , temperatur air masuk pendingin T_4) untuk debit 12 liter/mnt.

Pengoperasian *cooling tower* dengan debit air 12 liter/mnt menunjukkan peningkatan yang berkelanjutan. Nilai temperatur air yang keluar dari *cooling tower* (T_1) terus meningkat dari nilai temperatur air ideal yang keluar (T_{wb}) yang disebabkan meningkatnya temperatur air yang masuk ke *cooling tower*. Debit air 12 liter/mnt yang nilainya cukup rendah dapat mempengaruhi penyebaran air di dalam *cooling tower* menyebabkan proses perpindahan panas di dalam *cooling tower* tidak bekerja optimal. Pengoperasian *cooling tower* pada debit 12 liter/mnt tidak dapat dioperasikan untuk pendinginan *petrol-engine* untuk putaran 3000 rpm dan torsi 9.7 Nm kerana hanya dapat dioperasikan selama 16 menit untuk

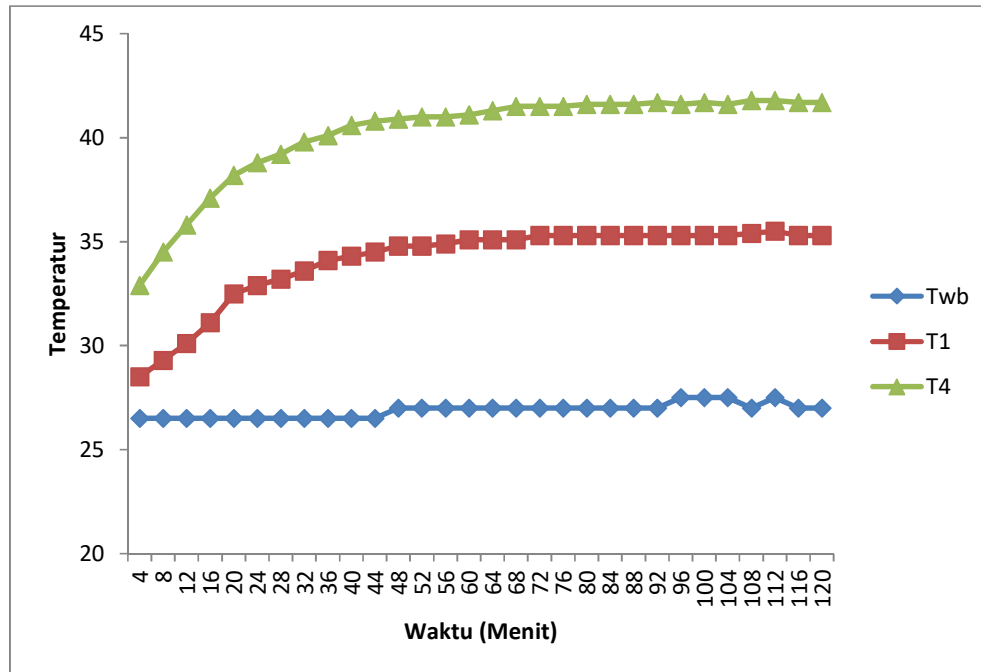
temperatur keluar $< 40^{\circ}\text{C}$ demi menjaga keandalan pompa air dalam pengoperasian sistem pendingin pada *petrol-engine* CM11.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 16 liter/mnt.

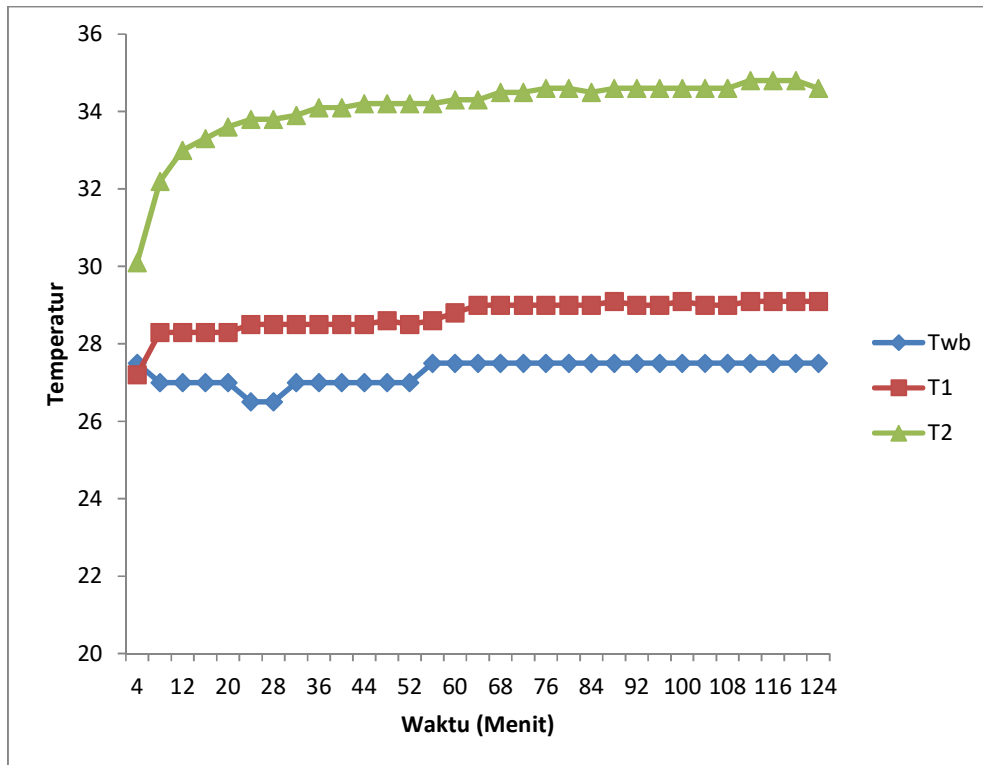
Nilai temperatur air yang keluar dari cooling tower (T_1) menunjukkan peningkatan yang signifikan dari nilai temperatur air ideal yang keluar dari cooling tower (T_{wb}). Besarnya nilai selisih antara temperatur air yang keluar dari cooling tower dan temperatur bola basah ($T_1 - T_{wb}$) atau nilai temperatur *approach*, sedangkan besarnya nilai selisih antara temperatur air yang masuk dan keluar pada cooling tower lebih kecil nilainya ($T_2 - T_1$). Kemampuan dari cooling tower untuk mendinginkan lebih diutamakan selisih temperatur *approach* dibandingkan selisih temperatur *range*. Kelemahan dari debit air 16 liter/mnt memiliki nilai temperatur

air yang keluar dari *cooling tower* yang terus meningkat hingga mencapai batas temperatur operasi pompa air selama selang waktu ± 1 jam sehingga debit air 16 liter/mnt dinilai tidak layak untuk diterapkan pada operasional sistem pendingin pada *petrol-engine*.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 20 liter/mnt.

Pengoperasian sistem pendingin pada *petrol-engine* dengan debit 20 liter/mnt menunjukkan bahwa semakin besar debit yang digunakan untuk pendinginan maka akan semakin efektif kinerja pendinginan. Nilai debit air 20 liter/mnt mencapai titik kestabilan nilai temperatur air yang keluar dari *cooling tower* saat durasi operasi 40 menit. Nilai temperatur air yang masuk dan keluar di *cooling tower* cenderung stabil pada suhu 35°C dan 41.7 °C dan beroperasi selama waktu yang ditentukan (2 jam).

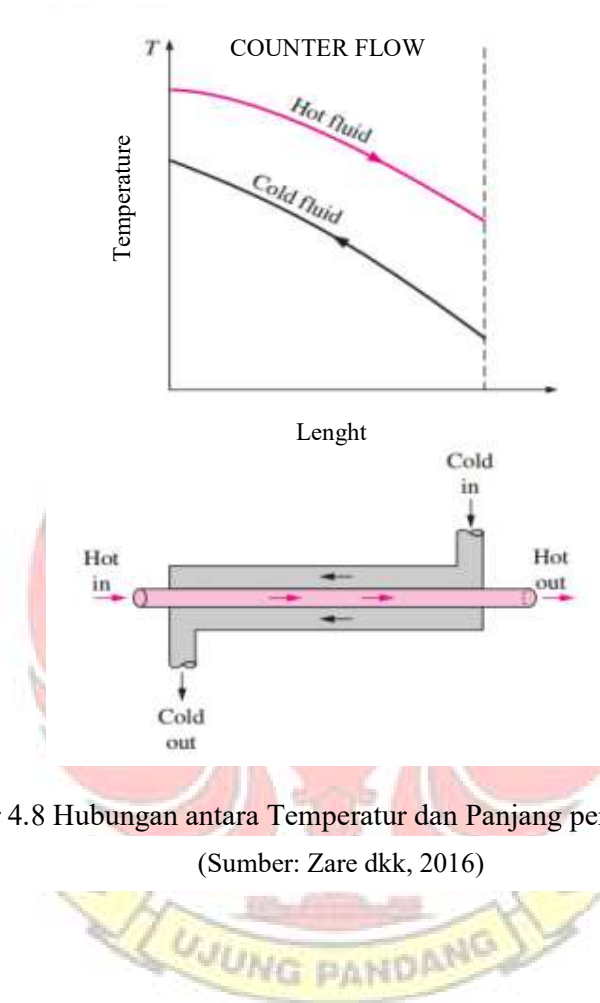


Gambar 4.7 Grafik hubungan antara waktu dan temperatur (temperatur bola basah (T_{wb}), temperatur air keluar pendingin (T_1), temperatur air masuk pendingin (T_4)) untuk debit 24 liter/mnt.

Kemampuan sistem pendinginan pada debit air 24 liter/mnt terlihat bahwa kinerja pendinginan *cooling tower* pada keadaan ideal, yang mana nilai selisih temperatur *approach* yang kecil dan selisih temperatur air yang masuk dan keluar yang besar. Hal ini mempertegas bahwa semakin besar debit air pada sistem sistem pendingin maka akan semakin efektif kinerja sistem pendingin.

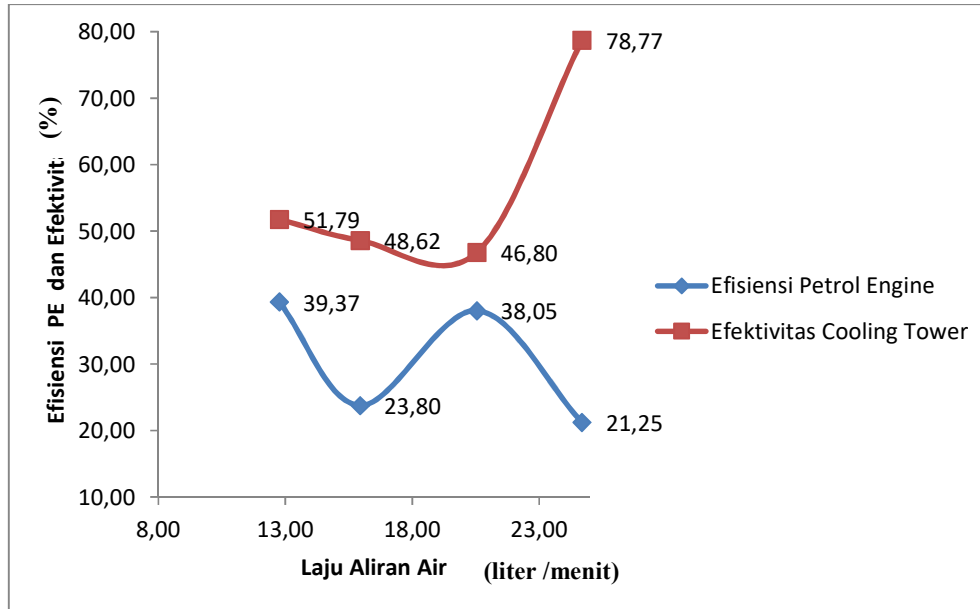
Tingkat efektivitas pendinginan dipengaruhi oleh besarnya luas penampang air yang berada di dalam *cooling tower*. Semakin besar luas perpindahan panas dari sebuah penukar kalor maka semakin besar laju perpindahan panas yang mana akan mempengaruhi nilai temperatur dari zat yang

dinginkan. Berdasarkan Gambar 4.6 merupakan karakteristik perpindahan panas.



Gambar 4.8 Hubungan antara Temperatur dan Panjang perpindahan panas
(Sumber: Zare dkk, 2016)

4.3.2 Grafik Hubungan antara Laju aliran air *cooling tower* dan Efisiensi *petrol-engine*, Efektivitas *cooling tower*



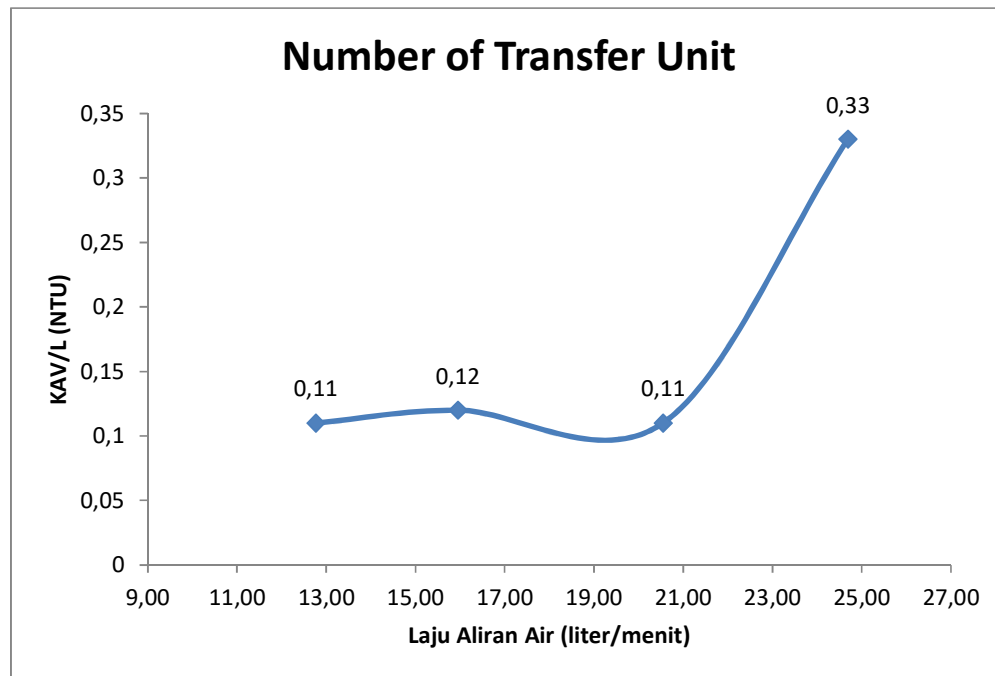
Gambar 4.9 Hubungan antara Efisiensi-Efektivitas dan laju aliran air

Debit air 24 liter/mnt menunjukkan efektivitas pendinginan *cooling tower* yang baik selama waktu yang ditentukan (2 jam) untuk mendinginkan *petrol-engine* guna mencegah *over heating* akan tetapi debit 24 liter/mnt memiliki efisiensi *petrol-engine* yang rendah. Debit air 20 liter /mnt memiliki efektivitas pendinginan *cooling tower* yang kurang baik yang ditinjau dari kinerja sistem pendingin pada *petrol-engine* namun memiliki efisiensi *petrol engine* yang besar.

Sedangkan untuk debit air 16 liter/ mnt beroperasi selama 1 jam, kurang dari waktu yang ditentukan yaitu 2 jam. Efektivitas *cooling tower* untuk debit 16 liter/mnt cukup rendah dengan nilai efektivitas rata-rata 48.62 %, sedangkan efisiensi *petrol engine* sebesar 23.80 %. Debit air 12 liter/mnt beroperasi selama 16 menit, yang kurang dari waktu yang ditentukan yaitu 2 jam, namun Efektivitas

cooling tower rata-rata untuk debit 12 liter/mnt sebesar 51.79 %. Sedangkan efisiensi *petrol-engine* rata-rata sebesar 39.37 %.

4.3.3 Grafik Hubungan antara *Number of Transfer Unit* dan Laju aliran Air pada *Cooling Tower*.



Gambar 4.10 Hubungan *Number of Transfer Unit* dan Laju Aliran Air pada *Cooling Tower*.

Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan bahwa *Number of Transfer Unit* dipengaruhi oleh laju aliran air *cooling tower*, nilai tertinggi dari NTU *cooling tower* terdapat pada laju aliran air 24 liter/mnt. *Number of Transfer Unit* merupakan jumlah perpindahan panas yang terjadi pada *cooling tower* antara air dan udara *cooling tower*. Semakin besar NTU maka semakin besar nilai efektivitas pendinginan *cooling tower*.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat disimpulkan dari tujuan penelitian “Modifikasi Sistem Pendingin *petrol engine* CM11” yaitu :

1. Memodifikasi sistem pendingin pada *petrol engine* CM11 dengan memasang instalasi pemipaan *petrol engine* ke *cooling tower*. Debit maksimal operasional sistem pendingin pada pompa air yaitu ≤ 33 liter/mnt.
2. Debit air pendingin *cooling tower* pada sistem pendingin *petrol engine* CM11 pada debit 20 liter/mnt memiliki nilai efektivitas *cooling tower* rata-rata yaitu 46,80 %. Nilai laju penguapan air pendingin 0,006389 m³/h, *Number of Transfer Unit* 0,1139.

5.2. Saran

1. Pengembangan terhadap sistem kontrol pada sistem pendingin agar pengambilan data lebih efektif.
2. Mengganti fill material untuk pengembangan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- El. Wakil, M.M. 1985. *Power Plant Technology*. USA : McGraw Hill, Inc.
- Ernady, Adi.2017.*Pemanfaatan Campuran Zeolit Alam-Fly Ash Batubara Yang Telah Diaktivasi Fisik Untuk Meningkatkan Prestasi Mesin 4-Langkah*. Bandar Lampung : Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
- Handoyo, Eka Anggraini.1999. *Pengaruh Temperatur Air Pendingin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Stasioner di Sebuah Huller*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra.
- Hayt, Jr., William H. dan Jack E. Kemmerly (Ed. Pantur Silaban). 1992. *Rangkaian Listrik Jilid 1 Edisi keempat*. Jakarta : Erlangga.
- Hernández-Calderón, Oscar M, Eusiel Rubio-Castro, Erika Y. Rios-Iribe.2014.*Solving the heat and mass transfer equations for an evaporative cooling tower through an orthogonal collocation method*. Elsevier
- Johanes, susanto. 2011. *Komparasi Karakteristik Menara Pendingin Menggunakan Beberapa Susunan Pipa-Pipa Sebagai Pendistribusi Cairan*. Jakarta : Universitas Gajah Mada.
- Nasution, Dian Morfi. 2010. *Penelitian Kinerja Induce Draft Cooling Tower Dengan Potongan Pipa PVC 1Ø Inchi sebagai Filling Material*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Perry, Robert H. and Don W. Green. *Perry's Chemical Engineering Handbook*. USA : McGraw Hill, Inc.
- Singham, J.R.1983. *Heat Exchanger Design Handbook*. USA : Hemisphere Publishing Corporation.
- Zare, Mrs. Kirti B., Ms. Dipika Kanchan, Ms. Nupur Patel. 2016. *Design of Double Pipe Heat Exchanger*. India : D.Y. Patil Institute of Engineering .
- <http://rakhman.net/2013/07/jenis-sistem-air-pendingin.html> (diakses pada 10 Desember 2017)
- <https://hvactutorial.wordpress.com/basic-hvacr/refrigeration-component-and-its-function/cooling-tower/> (diakses pada 10 Desember 2017)
- <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DeepWaterSourceCooling.svg> (diakses pada 10 Desember 2017)
- <http://www.maritimeworld.web.id/2013/11/sistem-pendingin-pada-motor-diesel-dan.html> (diakses pada 10 Desember 2017)

<http://tutorialteknik.blogspot.co.id/2011/05/> (diakses pada 10 Desember 2017)

<http://termodinamikahits.blogspot.co.id/2015/03/klasifikasi-penukar-kalor-berdasarkan.html> (diakses pada 5 Februari 2018)

<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1518/Moody%20Chart.pdf> (diakses pada 20 Juli 2018)

http://www.uigi.com/UIGI_SI.PDF (diakses pada 20 Juli 2018)



LAMPIRAN 1



Tabel A.1 Data Hasil Pengujian Pompa dan *Fan*
 Pengujian dilakukan pada *fan cooling tower* dengan menggunakan multimeter, *multitester*, tang ampere dan tachometer.

Tabel A.1.1 Data Hasil Pengujian Pompa.

No.	Parameter	Satuan	Nominal (Nameplat)	Terukur
1.	Tegangan Line-line L ₁ -L ₂ L ₂ -L ₃ L ₁ -L ₃	Volt	380	391 387 385
2.	Kuat Arus L ₁ L ₂ L ₃	Ampere	-	0,50 0,55 0,52
3.	Daya motor	watt	370	277
4.	Putaran	rpm	960	940
5.	Kecepatan udara <i>fan</i>	m/s	-	9.9

Pengujian dilakukan pada pompa air dengan menggunakan multimeter, tang ampere dan *flowmeter*.

Tabel A.1.2 Data Hasil Pengujian *Fan*.

No.	Parameter	Satuan	Nominal (Nameplat)	Terukur
1.	Tegangan Line-Netral	Volt	220	221
2.	Kuat Arus	Ampere	2.2	1.75
3.	Head Suction	m	9	-
4.	Head	m	10-29	-
5.	Putaran	rpm	2900	-
6.	Debit	<i>liter/mnt</i>	11-28	33
7.	Temperatur air maks	°C	40	-

Tabel A.2 Data Percobaan pendinginan *cooling tower* dengan laju aliran air yang bervariasi.
 Tabel A.2.1 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 12 ℓ/mnt (12-05-2018)

No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{fl} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
1.	13.36	0,4	0,1	12,9	221	2,03	3005	9,2	2,91	14	737	33,8	751,0	1,15	1,1530	30,3	37,5
2.	13.38			12,7	221	2,03	3005	9,5	2,98	14	737	35,2	752,9	1,14	1,1480	31,3	39,3
3.	13.40			12,7	221	2,03	3005	9,7	3,04	14	737	35,7	752,0	1,14	1,1462	32,4	40,8
4.	13.42			12,7	221	2,03	2998	9,7	3,04	14	737	36,3	753,9	1,14	1,1440	33,6	42,2
5.	13.44			12,9	221	2,03	3001	9,7	3,04	14	737	36,3	754,9	1,14	1,1440	34,6	43,4
6.	13.46			12,6	221	2,03	2998	9,9	3,10	14	737	36,9	754,9	1,14	1,1419	35,5	44,3
7.	13.48			12,7	221	2,03	3001	9,9	3,11	14	737	37,1	755,9	1,13	1,1412	36,1	45,1
8.	13.50			12,9	221	2,03	3001	9,7	3,04	14	737	37,3	755,9	1,13	1,1404	36,9	46,1



Lanjutan Tabel A.2.1 *Cooling tower*

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
1.	13.36	31,5	68,7	27	32,5	40,6	7,3	29,8	85,8	387,6	0,52
2.	13.38	30,7	71,3	27	33,6	42,1	6,9	29,8	85,3	387,6	0,52
3.	13.40	30,7	72,5	27,5	34,5	43,1	7,1	30	83,5	387,6	0,52
4.	13.42	31,3	71,6	27,5	35,7	44,2	7,3	30,2	84,2	387,6	0,52
5.	13.44	31,3	70,1	27,5	36,5	45	7,3	30,6	83,2	387,6	0,52
6.	13.46	31,6	70,5	28	37,2	45,9	6,8	30,6	82,3	387,6	0,52
7.	13.48	31,5	70,6	27,5	37,2	46,5	6,9	31	83,2	387,6	0,52
8.	13.50	31,8	69,8	28	38,3	47,2	6,9	31,1	83	387,6	0,52



Tabel A.2.2 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 16 ℓ/mnt (18-05-2018)

No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{fl} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
1.	08.42	0,34	1,1	16,3	221	1,94	3012	4,4	1,39	14	737	28,5	750,0	1,17	1,1720	27,89	33,7
2.	08.46			16,0	221	1,94	3005	5,3	1,66	14	737	30,1	750,0	1,16	1,1663	28,3	34,67
3.	08.50			16,0	221	1,94	3005	5,9	1,86	14	737	31,0	750,5	1,16	1,1630	29,61	36,78
4.	08.54			15,9	221	1,94	3001	5,8	1,82	14	737	31,8	751,0	1,15	1,1602	30,73	38,5
5.	08.58			16,0	221	1,94	3001	6,0	1,89	14	737	32,2	751,0	1,15	1,1587	31,68	39,85
6.	09.02			15,9	221	1,94	3005	6,0	1,89	14	737	32,8	752,9	1,15	1,1566	32,69	41,07
7.	09.06			16,0	221	1,94	2994	6,0	1,89	14	737	32,8	753,4	1,15	1,1566	33,52	42,06
8.	09.10			16,0	221	1,94	3005	6,0	1,89	14	737	33,0	754,9	1,15	1,1559	34,32	42,97
9.	09.14			16,1	221	1,94	3005	6,0	1,89	14	737	33,4	755,4	1,15	1,1544	34,87	43,59
10.	09.18			15,9	221	1,94	2998	6,0	1,89	14	737	33,6	755,9	1,15	1,1537	35,4	44,18
11.	09.22			15,8	221	1,94	3001	6,1	1,92	14	737	34,0	756,8	1,15	1,1523	35,88	44,7
12.	09.26			15,9	221	1,94	2994	6,0	1,89	14	737	34,4	757,8	1,14	1,1508	36,27	45,14
13.	09.30			15,9	221	1,94	3001	6,0	1,89	14	737	34,2	757,8	1,15	1,1516	36,49	45,4
14.	09.34			15,6	221	1,94	3001	6,0	1,89	14	737	34,2	757,8	1,15	1,1516	36,87	45,8



Lanjutan Tabel A.2.2 *Cooling tower*

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
1.	08.42	28	81,8	26,5	28,3	33,2	6,9	27,6	92,1	387,6	0,52
2.	08.46	27,8	87,7	26,5	29,8	35,1	6,9	27,4	92,5	387,6	0,52
3.	08.50	27,8	88,3	26,5	31,2	37,3	7,3	27,7	92,6	387,6	0,52
4.	08.54	27,8	86,5	26,5	32,2	38,8	7	27,7	93,3	387,6	0,52
5.	08.58	28,2	85,7	26,5	33,7	40,2	6,9	27,8	93	387,6	0,52
6.	09.02	28,2	87,4	26,5	34,1	41	6,9	27,9	93,4	387,6	0,52
7.	09.06	28,2	88,4	26,5	35	41,8	6,9	27,9	93,3	387,6	0,52
8.	09.10	28,2	85,6	26,5	35,3	42,5	7	27,9	93,5	387,6	0,52
9.	09.14	28,3	86,7	26,5	35,8	43,1	7,2	27,9	93,6	387,6	0,52
10.	09.18	28,3	83,6	26,5	36,3	43,7	7,2	28	93,2	387,6	0,52
11.	09.22	28,3	84,1	26,5	36,8	44,2	7,2	28,2	93,9	387,6	0,52
12.	09.26	28,5	85,2	26,5	37	44,3	7,3	28,4	92,5	387,6	0,52
13.	09.30	28,4	84,8	26,5	37,3	44,7	7,3	29	94	387,6	0,52
14.	09.34	28,6	84,9	26,5	37,5	45,1	6,9	30,4	92,4	387,6	0,52

Tabel A.2.3 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 20 ℓ/mnt (20-05-2018)

No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{fl} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
1.	10.02	0,2	1,3	20,7	222	1,86	2962	8,7	2,70	14	737	31,3	752,9	1,16	1,1620	27,88	32,83
2.	10.06			20,7	222	1,86	3005	8,9	2,81	14	737	32,2	752,9	1,15	1,1587	28,08	33,6
3.	10.10			20,5	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	33,2	752,0	1,15	1,1548	28,75	34,9
4.	10.14			20,5	222	1,86	3001	9,5	2,97	14	737	33,6	752,9	1,15	1,1537	29,69	36,24
5.	10.18			20,4	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	34,2	752,9	1,15	1,1516	30,45	37,28
6.	10.22			20,6	222	1,86	2994	9,3	2,93	14	737	35,4	754,4	1,14	1,1473	31,22	38,23
7.	10.26			20,5	222	1,86	2998	9,6	3,00	14	737	35,2	755,9	1,14	1,1480	31,84	38,96
8.	10.30			20,5	222	1,86	2998	9,7	3,04	14	737	34,8	755,9	1,14	1,1494	32,37	39,61
9.	10.34			20,4	222	1,86	3001	9,6	3,01	14	737	35,4	755,9	1,14	1,1473	32,79	40,1
10.	10.38			20,5	222	1,86	2998	9,6	3,00	14	737	35,6	757,3	1,14	1,1465	33,15	40,49
11.	10.42			20,6	222	1,86	3001	9,6	3,01	14	737	35,0	758,3	1,14	1,1487	33,45	40,83
12.	10.46			20,5	222	1,86	3001	9,6	3,01	14	737	35,5	758,3	1,14	1,1469	33,65	41,08
13.	10.50			20,8	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	36,1	758,8	1,14	1,1555	33,88	41,32
14.	10.54			20,5	222	1,86	3001	9,5	2,97	14	737	35,4	760,7	1,14	1,1473	33,97	41,42



Lanjutan Tabel A.2.3 Pompa dan *Petrol-engine* (16-30)

No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{fl} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
15	10.58	0,2	1,3	20,6	222	1,86	2998	9,5	2,97	14	737	35,4	759,8	1,14	1,1473	34,1	41,56
16	11.02			20,5	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	35,9	759,8	1,14	1,1455	34,25	41,72
17	11.08			20,5	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	36,1	761,2	1,14	1,1447	34,29	41,77
18	11.12			20,4	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	35,5	761,2	1,14	1,1469	34,48	41,97
19	11.16			20,5	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	35,7	763,2	1,14	1,1462	34,61	42,11
20	11.20			20,7	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	35,7	761,7	1,14	1,1462	34,68	42,15
21	11.24			20,7	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	35,7	762,2	1,14	1,1462	34,73	42,2
22	11.28			20,5	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	35,7	763,7	1,14	1,1462	34,85	42,33
23	11.32			20,4	222	1,86	3001	9,1	2,87	14	737	36,1	763,2	1,14	1,1447	34,86	42,34
24	11.36			20,4	222	1,86	3001	9,1	2,87	14	737	35,9	762,7	1,14	1,1455	34,85	42,32
25	11.40			20,6	222	1,86	3001	9,1	2,87	14	737	36,1	762,7	1,14	1,1447	34,9	42,36
26	11.44			20,5	222	1,86	3001	9,1	2,87	14	737	35,7	763,7	1,14	1,1462	34,92	42,38
27	11.48			20,6	222	1,86	2998	9,1	2,87	14	737	35,2	763,7	1,14	1,1480	35,02	42,46
28	12.02			20,5	222	1,86	3005	9,3	2,94	14	737	35,2	763,2	1,14	1,1480	35,19	42,63
29	12.06			20,6	222	1,86	2998	9,3	2,93	14	737	35	763,7	1,14	1,1487	35,19	42,65
30	12.10			20,7	222	1,86	3001	9,3	2,94	14	737	35,6	764,2	1,14	1,1465	35,14	42,62

Lanjutan Tabel A.2.3 *Cooling tower*

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
1.	10.02	30	71,4	26,5	28,5	32,9	7,2	28,6	88,2	387,6	0,52
2.	10.06	29,6	75,4	26,5	29,3	34,5	7,3	28,7	88,6	387,6	0,52
3.	10.10	29,7	73,4	26,5	30,1	35,8	7,3	28,8	88,4	387,6	0,52
4.	10.14	29,8	74,2	26,5	31,1	37,1	7,2	29	86,5	387,6	0,52
5.	10.18	30	71,8	26,5	32,5	38,2	7,4	29,7	87,9	387,6	0,52
6.	10.22	29,9	71,7	26,5	32,9	38,8	7,3	29,8	87,2	387,6	0,52
7.	10.26	30,1	70,4	26,5	33,2	39,2	7,5	29,9	87,6	387,6	0,52
8.	10.30	30,4	69,8	26,5	33,6	39,8	7,4	30,6	85,6	387,6	0,52
9.	10.34	30,7	69,3	26,5	34,1	40,1	7,8	30,8	84,7	387,6	0,52
10.	10.38	30,8	68,5	26,5	34,3	40,6	7,8	30,6	84,5	387,6	0,52
11.	10.42	30,7	70,2	26,5	34,5	40,8	7,6	30,8	84,3	387,6	0,52
12.	10.46	30,6	69,7	27	34,8	40,9	7,7	30,8	84,2	387,6	0,52
13.	10.50	30,9	67,9	27	34,8	41	7,3	30,9	84,5	387,6	0,52
14.	10.54	30,9	67,8	27	34,9	41	7,4	30,9	84,9	387,6	0,52
15.	10.58	31,1	69,5	27	35,1	41,1	7,7	31,4	84,8	387,6	0,52

Lanjutan Tabel A.2.2 *Cooling tower* (16-30)

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
16	11.02	31,2	68,4	27	35,1	41,3	7,3	31,3	83,6	387,6	0,52
17	11.08	31,4	68,2	27	35,1	41,5	7,2	31,2	84,2	31,4	68,2
18	11.12	31,3	67,8	27	35,3	41,5	7,8	31,1	83,8	31,3	67,8
19	11.16	31,1	70,4	27	35,3	41,5	7,8	31,3	83,9	31,1	70,4
20	11.20	31,1	68	27	35,3	41,6	7,9	31,4	84,4	31,1	68
21	11.24	31,4	69,8	27	35,3	41,6	8,1	31,6	81,6	31,4	69,8
22	11.28	31,8	64,2	27	35,3	41,6	8,5	31,9	81,2	31,8	64,2
23	11.32	31,7	67,1	27	35,3	41,7	8,6	31,7	82,4	31,7	67,1
24	11.36	31,6	68,4	27,5	35,3	41,6	8,5	31,8	88,4	31,6	68,4
25	11.40	31,6	67,8	27,5	35,3	41,7	8,5	31,6	83,7	31,6	67,8
26	11.44	31,6	67,7	27,5	35,3	41,6	8,8	31,9	85,1	31,6	67,7
27	11.48	32,1	66,4	27	35,4	41,8	8,6	31,9	84	32,1	66,4
28	12.02	31,9	65,4	27,5	35,5	41,8	8,6	32,1	82,6	31,9	65,4
29	12.06	32,5	62,1	27	35,3	41,7	8,9	32,4	80,1	32,5	62,1
30	12.10	32,3	62,8	27	35,3	41,7	8,6	32,3	80,2	32,3	62,8



Tabel A,2,4 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 24 ℓ/mnt (27-05-2018)

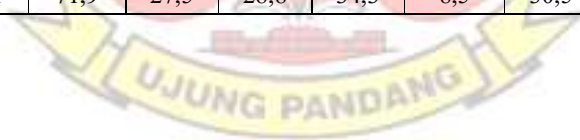
No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{ft} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
1.	09.40	0,7	1,6	24,6	221	1,76	3015	2,8	0,88	14	737	28,2	752,4	1,17	1,1731	26,69	30,01
2.	09.44			24,5	221	1,76	3008	4,7	1,49	14	737	30,3	750,5	1,16	1,1656	27,19	31,09
3.	09.48			24,6	221	1,76	3001	5,2	1,62	14	737	32,2	752	1,15	1,1587	27,6	32,31
4.	09.52			24,7	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	33,6	752,4	1,15	1,1537	27,36	32,57
5.	09.58			24,7	221	1,76	3005	5,6	1,76	14	737	34,2	752,9	1,15	1,1516	27,23	32,76
6.	10.02			24,7	221	1,76	2998	5,6	1,75	14	737	34,6	754,9	1,14	1,1501	27,22	32,98
7.	10.06			24,6	221	1,76	2998	5,8	1,82	14	737	34,6	756,3	1,14	1,1501	27,21	33,12
8.	10.10			24,7	221	1,76	2998	5,7	1,79	14	737	35	756,3	1,14	1,1487	27,19	33,2
9.	10.14			24,6	221	1,76	3001	5,6	1,76	14	737	35,4	757,8	1,14	1,1473	27,27	33,36
10.	10.18			24,7	221	1,76	3001	5,6	1,76	14	737	35,2	757,3	1,14	1,1480	27,33	33,47
11.	10.22			24,7	221	1,76	2998	5,6	1,75	14	737	35,2	758,8	1,14	1,1480	27,4	33,58
12.	10.26			24,7	221	1,76	2998	5,6	1,75	14	737	35,6	760,3	1,14	1,1465	27,49	33,68
13.	10.30			24,7	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	35,7	759,8	1,14	1,1462	27,52	33,73
14.	10.34			24,5	221	1,76	2998	5,4	1,69	14	737	35,9	759,8	1,14	1,1455	27,51	33,73
15.	10.38			24,6	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	35,9	761,7	1,14	1,1455	27,67	33,9

Lanjutan Tabel A.2.4 Pompa dan *Petrol-engine* (16-30)

No.	Waktu	Pompa					Petrol-Engine										
		P_s (Bar)	P_d (Bar)	Q_{pp} (liter/mnt)	V_p (volt)	I_p (A)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{ft} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
16	10.42	0,7	1,6	24,9	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	36,3	762,2	1,14	1,1440	27,79	34,04
17	10.46			24,9	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	36,5	762,7	1,14	1,1433	27,86	34,11
18	10.50			24,6	221	1,76	2998	5,4	1,69	14	737	36,5	763,2	1,14	1,1433	27,9	34,15
19	10.54			24,8	221	1,76	2980	4,9	1,54	14	737	36,3	764,2	1,14	1,1440	28,06	34,32
20	10.58			24,6	221	1,76	3005	4,9	1,56	14	737	35,9	763,7	1,14	1,1455	28,15	34,39
21	11.02			24,8	221	1,76	3001	4,9	1,55	14	737	35,7	763,7	1,14	1,1462	28,17	34,41
22	11.08			24,8	221	1,76	2998	4,9	1,55	14	737	35,5	764,2	1,14	1,1469	28,27	34,52
23	11.12			24,9	221	1,76	3001	5,2	1,62	14	737	36,1	764,2	1,14	1,1447	28,44	34,69
24	11.16			24,7	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	36,6	765,1	1,14	1,1430	28,33	34,59
25	11.20			24,8	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	36,5	764,6	1,14	1,1433	28,33	34,6
26	11.24			24,8	221	1,76	3001	5,4	1,69	14	737	36,7	764,6	1,14	1,1426	28,29	34,58
27	11.28			24,7	221	1,76	2998	5,4	1,69	14	737	36,4	765,6	1,14	1,1437	28,33	34,62
28	11.32			24,6	221	1,76	2994	5,2	1,62	14	737	36,3	764,6	1,14	1,1440	28,43	34,72
29	11.36			24,8	221	1,76	2998	4,9	1,55	14	737	36,3	764,6	1,14	1,1440	28,53	34,81
30	11.40			24,7	221	1,76	2994	4,8	1,52	14	737	36,2	764,6	1,14	1,1444	28,52	34,78
31	11.44			24,7	221	1,76	3001	4,8	1,52	14	737	36,6	765,6	1,14	1,1430	28,53	34,8

Lanjutan Tabel A.2.4 *Cooling tower*

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
1.	09.40	29,3	77,4	27,5	27,2	30,1	8,6	29,6	87,1	387,6	0,52
2.	09.44	29,6	78,3	27	28,3	32,2	8,8	29,8	88,1	387,6	0,52
3.	09.48	29,9	77,1	27	28,3	33	9	30	88,2	387,6	0,52
4.	09.52	30	75	27	28,3	33,3	9,2	30,1	88,4	387,6	0,52
5.	09.58	30,2	75,4	27	28,3	33,6	9	30,3	88,5	387,6	0,52
6.	10.02	30,2	75	26,5	28,5	33,8	9,3	30,3	87,8	387,6	0,52
7.	10.06	30,2	74,5	26,5	28,5	33,8	9,2	30,2	89	387,6	0,52
8.	10.10	30,3	74,8	27	28,5	33,9	9,4	30,4	86,8	387,6	0,52
9.	10.14	30,2	75,3	27	28,5	34,1	9,1	30,4	88,3	387,6	0,52
10.	10.18	30,3	75	27	28,5	34,1	9,4	30,3	88,5	387,6	0,52
11.	10.22	30,3	75,8	27	28,5	34,2	9	30,5	88,6	387,6	0,52
12.	10.26	30,4	75,6	27	28,6	34,2	9	30,7	88,9	387,6	0,52
13.	10.30	30,4	77,5	27	28,5	34,2	9,1	30,9	87,7	387,6	0,52
14.	10.34	30,5	73,7	27,5	28,6	34,2	8,8	31,1	87,4	387,6	0,52
15.	10.38	31,1	71,9	27,5	28,8	34,3	8,5	30,5	88,5	387,6	0,52



Lanjutan Tabel A.2.4 *Cooling tower* (16-30)

No.	Waktu	Cooling Tower									
		T_{db} (°C)	RH_1 (%)	T_{wb} (°C)	T_{w1} (°C)	T_{w4} (°C)	v_f (m/s)	T_{Af} (°C)	RH_2 (%)	V_f (volt)	I_f (A)
16.	10.42	31,3	72	27,5	29	34,3	9	31,2	86,4	387,6	0,52
17.	10.46	30,8	75,2	27,5	29	34,5	9,4	31,1	87,7	30,8	75,2
18.	10.50	30,8	76,3	27,5	29	34,5	9,3	31	87,8	30,8	76,3
19.	10.54	30,7	75,6	27,5	29	34,6	9,4	30,9	88,2	30,7	75,6
20.	10.58	30,7	73,8	27,5	29	34,6	9,5	31	87,7	30,7	73,8
21.	11.02	31,1	74,6	27,5	29	34,5	9	31,4	86,5	31,1	74,6
22.	11.08	31,3	74,6	27,5	29,1	34,6	9,5	31,7	86,6	31,3	74,6
23.	11.12	31,5	72,8	27,5	29	34,6	9,1	31,5	86,8	31,5	72,8
24.	11.16	31,1	74,1	27,5	29	34,6	9,4	31,3	86,4	31,1	74,1
25.	11.20	31,2	71,5	27,5	29,1	34,6	9,3	31,3	85,5	31,2	71,5
26.	11.24	31,3	74,1	27,5	29	34,6	9,2	31,6	87	31,3	74,1
27.	11.28	31,4	72,3	27,5	29	34,6	8,8	31,8	85,9	31,4	72,3
28.	11.32	31,7	71,1	27,5	29,1	34,8	9,3	32	85,3	31,7	71,1
29.	11.36	31,7	70	27,5	29,1	34,8	9,2	32,1	82,9	31,7	70
30.	11.40	31,9	67,7	27,5	29,1	34,8	9	31,8	83,8	31,9	67,7
31.	11.44	31,8	70,4	27,5	29,1	34,6	9,2	32,1	83,8	31,8	70,4

Keterangan :

$-P_s$ = Tekanan *suction* pompa (bar)

P_d = Tekanan *discharge* pompa (bar)

Q_{pp} = Debit air (ℓ/mnt)

Q_{fl} = Debit bahan bakar *inlet Petrol-engine* (mℓ/s)

ρ_{fl} = Density bahan bakar *inlet Petrol-engine* (kg/m³)

T_{A1}, T_{A2} = Temperatur udara *inlet, outlet* (°C) *Petrol-engine*

Q_A = Debit udara *inlet Petrol-engine* (m³/s)

ρ_A = Density udara *inlet Petrol-engine* (kg/m³)

T_{W2}, T_{W3} = Temperatur air *inlet, outlet* (°C) *Petrol-engine*

V_p = Tegangan pompa (volt)

I_f = Arus pompa (A)

V_f = Tegangan *fan* (volt)

I_f = Arus *fan* (A)

T_{db}, T_{wb} = Temperatur udara kering, basah ambient (°C) *Cooling tower*

RH_1, RH_2 = Kelembaban udara *inlet, outlet* (°C) *Cooling tower*

T_{W1}, T_{W4} = Temperatur air *inlet, outlet* (°C) *Cooling tower*

v_f = Kecepatan udara *fan* (m/s) *Cooling tower*

T_{Af} = Temperatur udara outlet (°C) *fan Cooling tower*



Tabel A.3 Data hasil perhitungan pendinginan *cooling tower* dengan laju aliran air yang bervariasi.
 Tabel A.3.1 Data hasil perhitungan pendinginan *cooling tower water flow* 12 l/mnt

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
1.	13.36	12.9	0.38	12933.42	Turbulen	0.20	0.06	1.96	98,86	381,33	25,92	6.42	7.70	212.74	37.78
2.	13.38	12.7	0.37	13033.68	Turbulen	0.20	0.06	1.95	98,86	381,33	25,92	7.03	7.70	207.74	38.69
3.	13.40	12.7	0.37	13282.03	Turbulen	0.20	0.06	1.95	98,86	381,33	25,92	7.37	7.70	203.64	39.47
4.	13.42	12.7	0.37	13609.99	Turbulen	0.19	0.06	1.95	98,86	381,33	25,92	7.54	7.70	203.64	39.47
5.	13.44	12.9	0.38	14095.00	Turbulen	0.20	0.06	1.96	98,86	381,33	25,92	7.83	7.70	203.64	39.47
6.	13.46	12.6	0.37	13988.13	Turbulen	0.19	0.05	1.94	98,86	381,33	25,92	7.65	7.70	199.70	40.25
7.	13.48	12.7	0.37	14179.83	Turbulen	0.19	0.06	1.95	98,86	381,33	25,92	7.89	7.70	199.06	40.38
8.	13.50	12.9	0.38	14697.50	Turbulen	0.20	0.06	1.95	98,86	381,33	25,92	8.18	7.70	203.64	39.47



Lanjutan Tabel A.3.1 *Cooling tower*

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	$h_{a out}$ (kJ/kg)	NTU
1.	13.36	8.1	13.6	59.56	7.22	1.12	0.21	0.33	2.30	0.01	9.27	11.56	0.10
2.	13.38	8.5	15.1	56.29	7.46	1.15	0.21	0.33	2.31	0.01	9.10	14.11	0.14
3.	13.40	8.6	15.6	55.13	7.54	1.17	0.21	0.33	2.31	0.01	9.10	10.99	0.13
4.	13.42	8.5	16.7	50.90	7.45	1.15	0.21	0.33	2.30	0.01	9.11	9.93	0.11
5.	13.44	8.5	17.5	48.57	7.56	1.17	0.21	0.33	2.30	0.01	9.25	15.47	0.10
6.	13.46	8.7	17.9	48.60	7.56	1.17	0.21	0.33	2.30	0.01	9.04	10.22	0.10
7.	13.48	9.3	19	48.95	8.14	1.26	0.21	0.33	2.30	0.01	9.11	17.14	0.10
8.	13.50	8.9	19.2	46.35	7.91	1.22	0.21	0.33	2.30	0.01	9.25	16.40	0.09



Tabel A.3.2 Data hasil perhitungan pendinginan *cooling tower water flow* 16 l/mnt

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
1	8.42	16.3	0.47	15184.07	Turbulen	0.31	0.09	2.10	98,86	364,42	27,12	6.56	7.70	445.38	18.05
2	8.46	16	0.47	15265.07	Turbulen	0.30	0.09	2.09	98,86	364,42	27,12	7.06	7.70	372.94	21.55
3	8.50	16	0.47	15643.56	Turbulen	0.30	0.09	2.09	98,86	364,42	27,12	7.94	7.70	332.84	24.15
4	8.54	15.9	0.46	15941.19	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	8.54	7.70	340.15	23.63
5	8.58	16	0.47	16502.05	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	9.04	7.70	327.56	24.54
6	9.02	15.9	0.46	16637.05	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	9.21	7.70	327.56	24.54
7	9.06	16	0.47	17009.89	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	9.44	7.70	327.56	24.54
8	9.10	16	0.47	17217.29	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	9.56	7.70	327.56	24.54
9	9.14	16.1	0.47	17514.41	Turbulen	0.29	0.09	2.08	98,86	364,42	27,12	9.69	7.70	327.56	24.54
10	9.18	15.9	0.46	17465.38	Turbulen	0.29	0.09	2.07	98,86	364,42	27,12	9.63	7.70	327.56	24.54
11	9.22	15.8	0.46	17549.50	Turbulen	0.28	0.09	2.07	98,86	364,42	27,12	9.62	7.70	322.44	24.93
12	9.26	15.9	0.46	17759.85	Turbulen	0.29	0.09	2.07	98,86	364,42	27,12	9.73	7.70	327.56	24.54
13	9.30	15.9	0.46	17860.26	Turbulen	0.28	0.09	2.07	98,86	364,42	27,12	9.77	7.70	327.56	24.54
14	9.34	15.6	0.45	17622.94	Turbulen	0.27	0.08	2.06	98,86	364,42	27,12	9.61	7.70	327.56	24.54



Lanjutan Tabel A.3.2 *Cooling tower*

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	$h_{a out}$ (kJ/kg)	NTU
1	8.42	4.9	6.7	73.13	5.53	0.86	0.27	0.42	2.33	0.00	11.61	11.25	0.23
2	8.46	5.3	8.6	61.63	5.87	0.92	0.27	0.41	2.33	0.00	11.39	2.99	0.18
3	8.50	6.1	10.8	56.48	6.75	1.05	0.27	0.41	2.33	0.00	11.38	5.32	0.16
4	8.54	6.6	12.3	53.66	7.26	1.13	0.26	0.41	2.33	0.01	11.31	8.99	0.14
5	8.58	6.5	13.7	47.45	7.18	1.12	0.26	0.41	2.33	0.01	11.38	6.90	0.11
6	9.02	6.9	14.5	47.59	7.58	1.18	0.26	0.41	2.33	0.01	11.31	5.96	0.11
7	9.06	6.8	15.3	44.44	7.52	1.17	0.26	0.41	2.33	0.01	11.38	4.31	0.10
8	9.10	7.2	16	45.00	7.96	1.24	0.26	0.41	2.33	0.01	11.38	8.82	0.10
9	9.14	7.3	16.6	43.98	8.11	1.27	0.27	0.42	2.33	0.01	11.45	6.34	0.10
10	9.18	7.4	17.2	43.02	8.12	1.27	0.26	0.41	2.33	0.01	11.30	11.46	0.09
11	9.22	7.4	17.7	41.81	8.07	1.26	0.26	0.41	2.33	0.01	11.23	13.82	0.09
12	9.26	7.3	17.8	41.01	8.01	1.25	0.26	0.41	2.32	0.01	11.31	10.17	0.09
13	9.30	7.4	18.2	40.66	8.12	1.27	0.26	0.41	2.32	0.01	11.31	20.28	0.09
14	9.34	7.6	18.6	40.86	8.17	1.28	0.26	0.40	2.32	0.01	11.09	30.96	0.09



Tabel A.3.3 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 20 ℓ/mnt

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
1	10.02	20.7	0.60	19515.17	Turbulen	0.47	0.15	2.32	98,86	350,98	28,16	7.10	7.70	229.29	35.05
2	10.06	20.7	0.60	20492.98	Turbulen	0.47	0.15	2.31	98,86	350,98	28,16	7.91	7.70	220.31	36.48
3	10.10	20.5	0.60	20820.03	Turbulen	0.46	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	8.73	7.70	211.29	38.04
4	10.14	20.5	0.60	20811.66	Turbulen	0.46	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	9.29	7.70	208.44	38.56
5	10.18	20.4	0.59	21543.24	Turbulen	0.45	0.14	2.29	98,86	350,98	28,16	9.64	7.70	210.57	38.17
6	10.22	20.6	0.60	22106.36	Turbulen	0.45	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	9.99	7.70	211.29	38.04
7	10.26	20.5	0.60	22300.96	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.09	7.70	206.36	38.95
8	10.30	20.5	0.60	22579.50	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.26	7.70	203.64	39.47
9	10.34	20.4	0.59	22691.13	Turbulen	0.44	0.14	2.29	98,86	350,98	28,16	10.31	7.70	205.67	39.08
10	10.38	20.5	0.60	22994.30	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.40	7.70	206.36	38.95
11	10.42	20.6	0.60	23237.69	Turbulen	0.45	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	10.50	7.70	205.67	39.08
12	10.46	20.5	0.60	23256.99	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.52	7.70	205.67	39.08
13	10.50	20.8	0.61	23700.68	Turbulen	0.46	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	10.69	7.70	211.29	38.04
14	10.54	20.5	0.60	23424.89	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.55	7.70	208.44	38.56
15	10.58	20.6	0.60	23608.29	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.62	7.70	208.44	38.56
16	11.02	20.5	0.60	23525.86	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.58	7.70	211.29	35.05

Lanjutan Tabel A.3.3 Pompa dan *Petrol-engine* (17-30)

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
17	11.08	20.5	0.60	23560.51	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.59	7.70	210.57	38.04
18	11.12	20.4	0.59	23512.48	Turbulen	0.44	0.14	2.28	98,86	350,98	28,16	10.55	7.70	210.57	38.17
19	11.16	20.5	0.60	23695.35	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.62	7.70	211.29	38.17
20	11.20	20.7	0.60	23962.03	Turbulen	0.45	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	10.68	7.70	210.57	38.04
21	11.24	20.7	0.60	23962.03	Turbulen	0.45	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	10.68	7.70	211.29	38.17
22	11.28	20.5	0.60	23798.74	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.59	7.70	210.57	38.04
23	11.32	20.4	0.59	23682.65	Turbulen	0.44	0.14	2.28	98,86	350,98	28,16	10.54	7.70	215.71	38.17
24	11.36	20.4	0.59	23755.74	Turbulen	0.44	0.14	2.28	98,86	350,98	28,16	10.52	7.70	215.71	37.26
25	11.40	20.6	0.60	23914.83	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.61	7.70	215.71	37.26
26	11.44	20.5	0.60	23798.74	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.56	7.70	215.71	37.26
27	11.48	20.6	0.60	23950.47	Turbulen	0.45	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.58	7.70	215.71	37.26
28	12.02	20.5	0.60	23903.05	Turbulen	0.44	0.15	2.29	98,86	350,98	28,16	10.53	7.70	210.57	37.26
29	12.06	20.6	0.60	24055.61	Turbulen	0.46	0.15	2.31	98,86	350,98	28,16	10.61	7.70	211.29	38.17
30	12.10	20.7	0.60	24136.25	Turbulen	0.45	0.15	2.30	98,86	350,98	28,16	10.69	7.70	210.57	38.04



Lanjutan Tabel A.3.3 *Cooling tower*

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	$h_{a out}$ (kJ/kg)	NTU
1	10.02	4.4	2	68.75	6.31	9.85	0.34	0.54	2.31	0.005	14.84	13.96	0.22
2	10.06	5.2	2.8	65.00	7.45	11.64	0.34	0.54	2.32	0.01	14.82	12.48	0.20
3	10.10	5.7	3.6	61.29	8.09	12.64	0.34	0.53	2.32	0.01	14.68	15.52	0.18
4	10.14	6	4.6	56.60	8.51	13.29	0.34	0.53	2.32	0.01	14.67	12.35	0.15
5	10.18	5.7	6	48.72	8.04	12.56	0.34	0.53	2.31	0.01	14.61	23.63	0.12
6	10.22	5.9	6.4	47.97	8.40	13.13	0.34	0.53	2.31	0.01	14.75	24.47	0.12
7	10.26	6	6.7	47.24	8.51	13.29	0.34	0.53	2.31	0.01	14.68	26.39	0.12
8	10.30	6.2	7.1	46.62	8.78	13.72	0.34	0.53	2.31	0.01	14.68	29.07	0.11
9	10.34	6	7.6	44.12	8.46	13.21	0.34	0.53	2.31	0.01	14.63	27.71	0.11
10	10.38	6.3	7.8	44.68	8.92	13.94	0.34	0.53	2.31	0.01	14.70	25.44	0.11
11	10.42	6.3	8	44.06	8.97	14.01	0.34	0.53	2.31	0.01	14.77	25.47	0.10
12	10.46	6.1	7.8	43.88	8.64	13.50	0.34	0.53	2.31	0.01	14.69	27.14	0.10
13	10.50	6.2	7.8	44.29	8.91	13.92	0.34	0.54	2.31	0.01	14.92	28.97	0.10
14	10.54	6.1	7.9	43.57	8.64	13.50	0.34	0.53	2.31	0.01	14.71	29.85	0.10
15	10.58	6	8.1	42.55	8.54	13.34	0.34	0.53	2.31	0.01	14.79	30.55	0.10
16	11.02	6.2	8.1	43.36	8.78	13.72	0.34	0.53	2.30	0.01	14.72	28.17	0.10

Lanjutan Tabel A.3.3 *Cooling tower* (17-30)

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	$h_{a out}$ (kJ/kg)	NTU
17	11.08	6.4	8.1	44.14	9.06	14.16	0.34	0.53	2.30	0.01	14.73	26.50	0.10
18	11.12	6.2	8.3	42.76	8.74	13.65	0.34	0.53	2.30	0.01	14.65	26.32	0.10
19	11.16	6.2	8.3	42.76	8.78	13.72	0.34	0.53	2.31	0.01	14.71	26.18	0.10
20	11.20	6.3	8.3	43.15	9.01	14.08	0.34	0.54	2.31	0.01	14.86	32.45	0.10
21	11.24	6.3	8.3	43.15	9.01	14.08	0.34	0.54	2.30	0.01	14.87	23.48	0.10
22	11.28	6.3	8.3	43.15	8.92	13.94	0.34	0.53	2.30	0.01	14.75	32.38	0.10
23	11.32	6.4	8.3	43.54	9.02	14.09	0.34	0.53	2.30	0.01	14.67	28.02	0.10
24	11.36	6.3	7.8	44.68	8.88	13.87	0.34	0.53	2.30	0.01	14.67	38.94	0.10
25	11.40	6.4	7.8	45.07	9.11	14.23	0.34	0.53	2.30	0.01	14.81	28.97	0.10
26	11.44	6.3	7.8	44.68	8.92	13.94	0.34	0.53	2.30	0.01	14.74	35.22	0.10
27	11.48	6.4	8.4	43.24	9.11	14.23	0.34	0.53	2.30	0.01	14.83	30.72	0.10
28	12.02	6.3	8	44.06	8.92	13.94	0.34	0.53	2.30	0.01	14.75	34.13	0.10
29	12.06	6.4	8.3	43.54	9.11	14.23	0.34	0.53	2.30	0.01	14.85	33.33	0.10
30	12.10	6.4	8.3	43.54	9.15	14.30	0.34	0.54	2.30	0.01	14.91	32.92	0.10



Tabel A.3.4 Data percobaan pendinginan *cooling tower water flow* 24 l/mnt

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
1	9.4	24.6	0.72	22387.41	Turbulen	0.65	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	5.66	7.70	703.50	11.42
2	9.44	24.5	0.71	22554.19	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	6.62	7.70	415.49	19.34
3	9.48	24.6	0.72	22915.84	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	8.03	7.70	382.15	21.03
4	9.52	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	8.91	7.70	366.32	21.94
5	9.58	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	9.46	7.70	351.75	22.85
6	10.02	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	9.85	7.70	353.76	22.72
7	10.06	24.6	0.72	22915.84	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.07	7.70	340.15	23.63
8	10.1	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.28	7.70	345.85	23.24
9	10.14	24.6	0.72	22915.84	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.38	7.70	351.75	22.85
10	10.18	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.50	7.70	351.75	22.85
11	10.22	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.57	7.70	353.76	22.72
12	10.26	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.59	7.70	353.76	22.72
13	10.3	24.7	0.72	23009.00	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.62	7.70	366.32	21.94
14	10.34	24.5	0.71	22822.69	Turbulen	0.64	0.21	2.54	98,86	330,61	29,90	10.55	7.70	366.32	21.94
15	10.38	24.6	0.72	23189.61	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.61	7.70	366.32	21.94
16	10.42	24.6	0.72	23189.61	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.65	7.70	366.32	21.94

Lanjutan Tabel A.3.4 Pompa dan *Petrol-engine* (17-30)

No.	Pukul	Pompa										Petrol-Engine			
		Q_{pp} (liter/mnt)	v_w (m/s)	Re_w	Jenis aliran	h_{fl} (m)	h_k (m)	H_{total} (m)	P_{pp} (W)	P_{in} (W)	η_{pp} (%)	q_{he} (kW)	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)
17	10.46	24.9	0.72	23472.41	Turbulen	0.65	0.21	2.57	98,86	330,61	29,90	10.78	7.70	366.32	21.94
18	10.5	24.6	0.72	23189.61	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.65	7.70	366.32	21.94
19	10.54	24.8	0.72	23378.14	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.75	7.70	402.00	19.99
20	10.58	24.6	0.72	23189.61	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.63	7.70	396.85	20.25
21	11.02	24.8	0.72	23378.14	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.72	7.70	399.41	20.12
22	11.08	24.8	0.72	23378.14	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.73	7.70	399.41	20.12
23	11.12	24.9	0.72	23758.66	Turbulen	0.65	0.21	2.57	98,86	330,61	29,90	10.77	7.70	382.15	21.03
24	11.16	24.7	0.72	23283.87	Turbulen	0.64	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.71	7.70	366.32	21.94
25	11.2	24.8	0.72	23663.24	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.77	7.70	366.32	21.94
26	11.24	24.8	0.72	23378.14	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.80	7.70	366.32	21.94
27	11.28	24.7	0.72	23283.87	Turbulen	0.64	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.76	7.70	366.32	21.94
28	11.32	24.6	0.72	23472.41	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.71	7.70	382.15	21.03
29	11.36	24.8	0.72	23663.24	Turbulen	0.65	0.21	2.56	98,86	330,61	29,90	10.78	7.70	399.41	20.12
30	11.4	24.7	0.72	23567.82	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.71	7.70	407.29	19.73
31	11.44	24.7	0.72	23567.82	Turbulen	0.64	0.21	2.55	98,86	330,61	29,90	10.72	7.70	407.29	19.73



Lanjutan Tabel A.3.4 *Cooling tower*

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	h_a out (kJ/kg)	NTU
1	9.4	2.9	0.2	93.55	4.94	7.73	0.41	0.64	2.32	0.00	17.61	18.39	0.36
2	9.44	3.9	1.3	75.00	6.62	10.34	0.41	0.63	2.32	0.00	17.54	17.86	0.28
3	9.48	4.7	1.3	78.33	8.01	12.51	0.41	0.64	2.31	0.01	17.63	19.26	0.31
4	9.52	5	1.3	79.37	8.55	13.36	0.41	0.64	2.31	0.01	17.71	23.36	0.31
5	9.58	5.3	1.3	80.30	9.06	14.16	0.41	0.64	2.31	0.01	17.72	23.16	0.34
6	10.02	5.3	2	72.60	9.06	14.16	0.41	0.64	2.31	0.01	17.72	22.64	0.31
7	10.06	5.3	2	72.60	9.03	14.11	0.41	0.64	2.31	0.01	17.65	24.30	0.31
8	10.1	5.4	1.5	78.26	9.24	14.43	0.41	0.64	2.31	0.01	17.72	21.41	0.31
9	10.14	5.6	1.5	78.87	9.54	14.90	0.41	0.64	2.31	0.01	17.64	24.19	0.32
10	10.18	5.6	1.5	78.87	9.58	14.96	0.41	0.64	2.31	0.01	17.72	22.77	0.32
11	10.22	5.7	1.5	79.17	9.75	15.23	0.41	0.64	2.31	0.01	17.72	24.01	0.34
12	10.26	5.6	1.6	77.78	9.58	14.96	0.41	0.64	2.31	0.01	17.73	26.22	0.34
13	10.3	5.7	1.5	79.17	9.75	15.23	0.41	0.64	2.31	0.01	17.73	23.31	0.39
14	10.34	5.6	1.1	83.58	9.50	14.84	0.41	0.63	2.31	0.01	17.59	31.92	0.34
15	10.38	5.5	1.3	80.88	9.37	14.64	0.41	0.64	2.31	0.01	17.69	22.23	0.31
16	10.42	5.3	1.5	77.94	9.03	14.10	0.41	0.64	2.30	0.01	17.70	24.66	0.31

Lanjutan Tabel A.3.4 *Cooling tower* (17-30)

No.	Pukul	Cooling Tower											
		ΔT (°C)	T_{app} (°C)	ϵ_{ct} (%)	q_{ct} (kW)	q_{sp} (kW/m ²)	\dot{m}_w (kg/s)	\dot{m}_{sp} (kg/m ² s)	\dot{m}_a (kg/s)	W_m (m ³ /h)	L/G	h_a out (kJ/kg)	NTU
17	10.46	5.5	1.5	78.57	9.48	14.81	0.41	0.65	2.31	0.01	17.89	25.36	0.32
18	10.5	5.5	1.5	78.57	9.37	14.63	0.41	0.64	2.31	0.01	17.68	22.44	0.33
19	10.54	5.6	1.5	78.87	9.61	15.02	0.41	0.64	2.31	0.01	17.82	24.22	0.32
20	10.58	5.6	1.5	78.87	9.54	14.90	0.41	0.64	2.31	0.01	17.67	27.63	0.30
21	11.02	5.5	1.5	78.57	9.44	14.75	0.41	0.64	2.31	0.01	17.84	24.66	0.34
22	11.08	5.5	1.6	77.46	9.44	14.75	0.41	0.64	2.30	0.01	17.85	26.30	0.36
23	11.12	5.6	1.5	78.87	9.65	15.08	0.41	0.65	2.30	0.01	17.93	25.45	0.36
24	11.16	5.6	1.5	78.87	9.57	14.96	0.41	0.64	2.31	0.01	17.77	24.18	0.33
25	11.2	5.5	1.6	77.46	9.44	14.75	0.41	0.64	2.30	0.01	17.84	26.12	0.30
26	11.24	5.6	1.5	78.87	9.61	15.02	0.41	0.64	2.30	0.01	17.85	26.74	0.36
27	11.28	5.6	1.5	78.87	9.57	14.96	0.41	0.64	2.30	0.01	17.78	29.25	0.35
28	11.32	5.7	1.6	78.08	9.70	15.16	0.41	0.64	2.30	0.01	17.72	29.59	0.35
29	11.36	5.7	1.6	78.08	9.78	15.29	0.41	0.64	2.30	0.01	17.87	28.22	0.32
30	11.4	5.7	1.6	78.08	9.74	15.23	0.41	0.64	2.30	0.01	17.81	29.87	0.31
31	11.44	5.5	1.6	77.46	9.40	14.69	0.41	0.64	2.30	0.01	17.80	28.20	0.34

Keterangan :



Q_{pp}	= Debit air (ℓ/mnt)
v_w	= Kecepatan air (m/s)
Re_w	= Bilangan Reynolds
h_{fl}	= Rugi-rugi mayor (m)
h_k	= Rugi-rugi minor (m)
H_{total}	= Head total (m)
P_{pp}	= Daya keluaran pompa (kW)
P_{in}	= Daya masukan pompa (kW)
η_{pp}	= Efisiensi pompa (%)
q_{he}	= Laju perpindahan kalor <i>heat exchanger</i> (kW)
q_{bb}	= Laju konsumsi bahan bakar <i>petrol engine</i> (kW)
SFC	= <i>Spesification fuel consumption</i> (gr/kWh)
η_{pe}	= Efisiensi <i>Petrol engine</i> (%)
ΔT	= <i>Range cooling tower</i> ($^{\circ}\text{C}$)
T_{app}	= Temperatur <i>Approach cooling tower</i> ($^{\circ}\text{C}$)
ϵ_{ct}	= Efektivitas pendinginan <i>cooling tower</i> (%)
q_{ct}	= Laju perpindahan kalor <i>cooling tower</i> (kW)
q_{sp}	= Laju perpindahan panas spesifik (kW/m^2)
\dot{m}_w	= Laju aliran massa air <i>cooling tower</i> (kg/s)
\dot{m}_{sp}	= Laju aliran massa spesifik air <i>cooling tower</i> ($\text{kg/m}^2\text{s}$)
\dot{m}_a	= Laju aliran massa udara (kg/s)
W_m	= Laju <i>make up water</i> (m^3/h)
L/G	= Perbandingan air dan udara <i>cooling tower</i>
$h_{a out}$	= Entalpi udara yang keluar di <i>cooling tower</i> (kJ/kg)
NTU	= <i>Number of transfer unit</i>

Tabel A.4. Data percobaan dan Hasil Perhitungan *Cooling Ponds*.

Tabel A.4.1 Data percobaan pendinginan *cooling ponds* dengan laju aliran yang bervariasi.

No.	Petrol-Engine											
	Q_{pp} (l/mnt)	n (rpm)	τ (Nm)	P_s (kW)	Q_{fl} (ml/mnt)	ρ_{fl} (kg/m ³)	T_{A1} (°C)	T_{A2} (°C)	Q_A (m ³ /s)	ρ_A (kg/m ³)	T_{W2} (°C)	T_{W3} (°C)
1	10.2	2821	3.2	0.95	13	737	35.4	746.1	1.14	1.1473	28.5	36.5
2	10.8	2535	6.7	1.77	12	737	35.4	746.1	1.14	1.1473	28.5	36.5
3	14.2	2266	9.5	2.24	11	737	35.2	743.2	1.14	1.1480	28.5	35.9
4	14.6	2100	11.8	2.60	10	737	35.2	743.2	1.14	1.1480	28.5	34.8
5	14.4	1966	13.3	2.74	9	737	35.4	742.2	1.14	1.1473	28.5	34.2
6	14.6	1870	14.6	2.86	9	737	35.4	741.2	1.14	1.1473	28.5	34.2
7	14.5	1828	15.3	2.92	9	737	35.5	741.2	1.14	1.1469	28.5	34.0
8	14.3	1799	15.9	3.00	8	737	35.5	740.2	1.14	1.1469	28.5	34.0
9	14.4	1775	16.3	3.03	8	737	35.5	743.2	1.14	1.1469	28.5	33.8
10	14.4	1761	17.2	3.17	8	737	35.7	741.2	1.14	1.1462	28.5	33.8
11	13.7	1739	17.4	3.17	8	737	35.7	741.2	1.14	1.1462	28.5	33.8
12	13.7	1732	17.6	3.20	8	737	35.9	741.2	1.14	1.1455	28.5	33.8
13	13.6	1722	17.8	3.22	8	737	35.9	740.2	1.14	1.1455	28.5	34.0
14	13.3	1718	18.0	3.25	8	737	35.9	741.2	1.14	1.1455	28.5	34.0
15	13.4	1715	18.0	3.24	8	737	35.9	740.2	1.14	1.1455	28.5	34.0
16	13.6	1715	18.3	3.28	8	737	36.1	741.2	1.14	1.1447	28.5	34.0
17	13.9	1711	18.5	3.31	8	737	36.3	740.2	1.14	1.1440	28.5	34.0
18	14.0	1711	18.5	3.31	8	737	36.5	741.2	1.14	1.1433	28.5	34.0
19	14.0	1711	18.5	3.31	8	737	36.7	741.2	1.14	1.1426	28.5	34.2
20	13.8	1707	18.5	3.30	8	737	36.7	741.2	1.14	1.1426	28.5	34.2
21	13.6	1704	18.7	3.34	8	737	36.7	741.2	1.14	1.1426	28.5	34.2
22	13.9	1704	18.5	3.30	8	737	36.7	741.2	1.14	1.1426	28.5	34.2
23	13.5	1707	18.7	3.34	8	737	36.7	741.2	1.14	1.1426	28.5	34.2
24	13.6	1707	18.7	3.34	8	737	36.9	740.2	1.14	1.1419	28.5	34.2
25	13.6	2821	18.7	3.34	8	737	36.9	741.2	1.14	1.1419	28.5	34.4

Tabel A.4.2 Data hasil perhitungan *cooling ponds* pada

No.	Petrol-Engine						
	q_{bb} (kW)	SFC (gr/kWh)	η_{pe} (%)	ΔT (°C)	T_{app} (°C)	q_{he} (kW)	ϵ_{ct} (%)
1	7.15	605.12	13.28	8.00	0.50	5.65	94.12
2	6.60	299.80	26.81	8.00	0.50	5.98	94.12
3	6.05	217.15	37.01	7.40	0.50	7.27	93.67
4	5.50	170.08	47.26	6.30	0.50	6.37	92.65
5	4.95	145.25	55.34	5.70	0.50	5.68	91.94
6	4.95	139.15	57.76	5.70	0.50	5.76	91.94
7	4.95	136.29	58.97	5.50	0.50	5.52	91.67
8	4.40	117.92	68.16	5.50	0.50	5.44	91.67
9	4.40	116.75	68.84	5.30	0.50	5.28	91.38
10	4.40	111.60	72.02	5.30	0.50	5.28	91.38
11	4.40	111.60	72.02	5.30	0.50	5.03	91.38
12	4.40	110.55	72.70	5.30	0.50	5.03	91.38
13	4.40	109.86	73.16	5.50	0.50	5.18	91.67
14	4.40	108.85	73.84	5.50	0.50	5.06	91.67
15	4.40	109.19	73.61	5.50	0.50	5.10	91.67
16	4.40	107.85	74.52	5.50	0.50	5.18	91.67
17	4.40	106.88	75.20	5.50	0.50	5.29	91.67
18	4.40	106.88	75.20	5.50	0.50	5.33	91.67
19	4.40	106.88	75.20	5.70	0.50	5.52	91.94
20	4.40	107.20	74.98	5.70	0.50	5.44	91.94
21	4.40	105.92	75.88	5.70	0.50	5.37	91.94
22	4.40	107.20	74.98	5.70	0.50	5.48	91.94
23	4.40	105.92	75.88	5.70	0.50	5.33	91.94
24	4.40	105.92	75.88	5.70	0.50	5.37	91.94
25	4.40	105.92	75.88	5.90	0.50	5.55	92.19



Tabel A.5 Sifat-sifat Air

Note: $Gr_x Pr = \left(\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k} \right) x^3 \Delta T$							
°F	°C	c_p kJ/kg · °C	ρ kg/m ³	μ kg/m · s	k W/m · °C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2 c_p}{\mu k}$ 1/m ³ · °C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	1.91×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	6.34×10^9
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.08×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.46×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	1.91×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	2.48×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	3.3×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.19×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	4.89×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	5.66×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	6.48×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	7.62×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	8.84×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	9.85×10^{10}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	1.09×10^{11}
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

(Sumber : J.P. Holmann, Ed. 10)

Tabel A.6 Sifat-sifat Udara

The values of μ , k , c_p , and Pr are not strongly pressure-dependent and may be used over a fairly wide range of pressures							
T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg · °C	$\mu \times 10^5$ kg/m · s	$\nu \times 10^6$ m ² /s	k W/m · °C	$\alpha \times 10^4$ m ² /s	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

(Sumber : J.P. Holmann, Ed. 10)

Tabel A.7 Kekasaran Material

	k , mm
1. Smooth pipes ^b	
Drawn brass, copper, aluminum, etc.	0.002 5
Glass, plastic, perspex, fiber glass, etc.	0.002 5
2. Steel pipes	
New smooth pipes	0.025
Centrifugally applied enamals	0.025
Light rust	0.25
Heavy brush asphalts, enamals, and tars	0.5
Water mains with general tuberculations	1.2
3. Concrete pipes	
New. unusually smooth concrete with smooth joints	0.025
Steel forms, first-class workmanship, with smooth joints	0.025
New, or fairly new, smooth concrete and joints	0.1
Steel forms, average workmanship, smooth joints	0.1
Wood, floated or brushed surface, in good condition, with good joints	0.25
Eroded by sharp material in transit, marks visible from wooden forms	0.5
Precast pipes, good surface finish, average joints	0.25
4. Other pipes	
Sheet metal ducts with smooth joints	0.002 5
Galvanized metals, normal finish	0.15
Galvanized metals, smooth finish	0.025
Cast iron, uncoated and coated	0.15
Asbestos cement	0.025
Flexible straight rubber pipe with a smooth bore	0.025
Corrugated plastic pipes ^c (apparent roughness)	3.5
Mature foul sewers	3.0

(Sumber : Singham, 1983)

Tabel A.8 Karakteristik Material

Tabel 5.18.: Perbandingan berat dan kekuatan dari logam-logam dan bahan-bahan sintetik.

Bahan	Berat jenis kg/dm ³	Kekuatan tarik pada 20 °C N/mm ²	Kekuatan lentur ¹ N/mm ²	Kekuatan tekan ² N/mm ²	Ketahanan tumbuk daNcm/cm ²	Regangan patah %	Modulus E N/mm ²	Kekerasan peluru tekan (60°) %	Suhu kerja maksimum °C ≈	
Logam	Stahl St52	7,85	510			10-16	210000		1000	
	Grauguß GG18	7,25	180				100000		800	
	Duralumin Al-Cu-Mg	2,80	430				72000		450	
	Magnesium-Leg. Mg-Al	1,80	280				43000		500	
	Zink (Druckguß)	5,8	270				130000		300	
Thermoplastik	Polyäthylen Tekanan tinggi	0,92	14-18	11		bricht nicht	400-600	200	130	70
	" rendah	0,94	30	28			1000	450	300	70
	Polyvinylchlorid hart	1,38	52-60	60-120	75	>100	50-150	3000	900	50-60
	Polyvinylcarbazol	1,19	25	50		5				150
	Polymethylmethacrylat	1,18	50	90	100	20		3000	1500-1800	70
	Polystyrol	1,05	40-50	70-100	90-100	20-25	2-3		900-1000	60-80
	Styrol-Mischpolymerisate dengan Acrylnitril	1,08	55-70	120-130	115	35	2-3		1200	80
	dengan Acrylnitril u. Butadien	1,08	39	62	48	85	>25		850	70
	Mischpolymerisate dari 70% Acrylnitril 30% Methylmethacrylat	1,17	95	150		66	>30	4500	1900-2000	
	Polytetrafluoräthylen	2,2	10-20	11	7-12	8,6	250-400	350	120	200
	Polytrifluorchloräthylen	2,1	40	60	300-500	bricht nicht	30-80	1300	600-900	160
	Polyamid Typ A	1,13	60-80	70-100	100	bricht nicht	20-200	1600	800-1000	90
	Typ B	1,13	50-60	35-50	90		20-250	700	400	80
	Polyurethan	1,21	50-60	30-70	50-80	>150	40-100	900	700	80
	Polypropylen	0,9	30-38	45	110		600-1200	1500-2000	580-720	120-150
	Polycarbonat	1,2	62-67	110-120	79-84	>150		2200-2500	870-1000	135-140
	Zelluloseacetobutyrat CAB Typ 411-413	1,2-1,35	35-50	38-55	45-57	12-18	40	1700-2500	1200	60-70
	Duroplastik	Epoxyharz, rein	1,1	56	140		20		4600	
Phenolharz m. Füllstoff		1,3	55	75-95		5-10		3200		150
Schichtpreßstoffe Typ 57		1,4	80	120		15		8000-13000		100
Phenolharz gebund. 77		1,45	50	50		25		4000-9000		100
Duroplastik	Phenolharz- Typ 11	1,8	15	50		3,5		600-1500		150
	preßmassen 31	1,4	25	70		6,0		3500-8000		100
	74	1,45	25	60		12,0		7000-10000		100
GFK	Polyester m. Glasmatten	1,6-1,8	100-160			25-50		11000		200
	Polyester m. Glasgewebe	1,6-1,9	250-550			40-90		21000-35000		200

Faktor-faktor penting yang harus dijaga konstan dalam penentuan kekuatan bahan sintetik adalah suhu referensi dan keadaan semula tanpa pemanasan melampaui suhu pelunakkan di dalam tempat tertutup dan tanpa pendinginan.

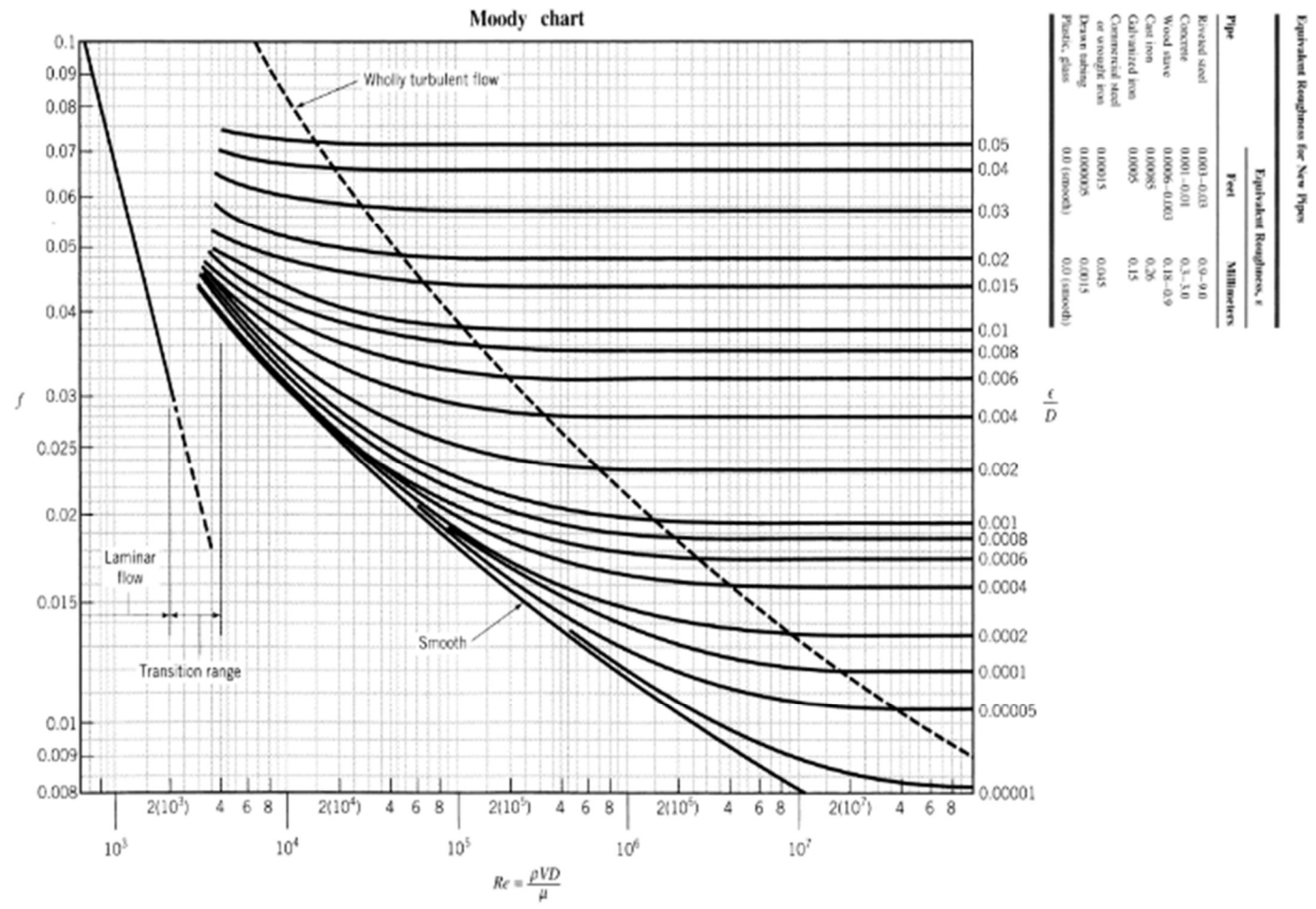
¹ Lenturan 15 mm untuk jarak tunjung 120 mm.
² Kotak dengan 1 cm².
³ Modulus deformasi untuk bahan sintetik liat : Regangan - 4 jam tarik.
⁴ Dengan peluru φ 5 mm dan beban 490 N selama 60 detik. Dimensinya [Kp/cm²].

Tabel A.9 Properties Of Saturated Water : Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
.01	0.00611	1.0002	206.136	0.00	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.0000	9.1562	.01
4	0.00813	1.0001	157.232	16.77	2380.9	16.78	2491.9	2508.7	0.0610	9.0514	4
5	0.00872	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	9.0257	5
6	0.00935	1.0001	137.734	25.19	2383.6	25.20	2487.2	2512.4	0.0912	9.0003	6
8	0.01072	1.0002	120.917	33.59	2386.4	33.60	2482.5	2516.1	0.1212	8.9501	8
10	0.01228	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.9008	10
11	0.01312	1.0004	99.857	46.20	2390.5	46.20	2475.4	2521.6	0.1658	8.8765	11
12	0.01402	1.0005	93.784	50.41	2391.9	50.41	2473.0	2523.4	0.1806	8.8524	12
13	0.01497	1.0007	88.124	54.60	2393.3	54.60	2470.7	2525.3	0.1953	8.8285	13
14	0.01598	1.0008	82.848	58.79	2394.7	58.80	2468.3	2527.1	0.2099	8.8048	14
15	0.01705	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.7814	15
16	0.01818	1.0011	73.333	67.18	2397.4	67.19	2463.6	2530.8	0.2390	8.7582	16
17	0.01938	1.0012	69.044	71.38	2398.8	71.38	2461.2	2532.6	0.2535	8.7351	17
18	0.02064	1.0014	65.038	75.57	2400.2	75.58	2458.8	2534.4	0.2679	8.7123	18
19	0.02198	1.0016	61.293	79.76	2401.6	79.77	2456.5	2536.2	0.2823	8.6897	19
20	0.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2966	8.6672	20
21	0.02487	1.0020	54.514	88.14	2404.3	88.14	2451.8	2539.9	0.3109	8.6450	21
22	0.02645	1.0022	51.447	92.32	2405.7	92.33	2449.4	2541.7	0.3251	8.6229	22
23	0.02810	1.0024	48.574	96.51	2407.0	96.52	2447.0	2543.5	0.3393	8.6011	23
24	0.02985	1.0027	45.883	100.70	2408.4	100.70	2444.7	2545.4	0.3534	8.5794	24
25	0.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.5580	25
26	0.03363	1.0032	40.994	109.06	2411.1	109.07	2439.9	2549.0	0.3814	8.5367	26
27	0.03567	1.0035	38.774	113.25	2412.5	113.25	2437.6	2550.8	0.3954	8.5156	27
28	0.03782	1.0037	36.690	117.42	2413.9	117.43	2435.2	2552.6	0.4093	8.4946	28
29	0.04008	1.0040	34.733	121.60	2415.2	121.61	2432.8	2554.5	0.4231	8.4739	29
30	0.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.4533	30
31	0.04496	1.0046	31.165	129.96	2418.0	129.97	2428.1	2558.1	0.4507	8.4329	31
32	0.04759	1.0050	29.540	134.14	2419.3	134.15	2425.7	2559.9	0.4644	8.4127	32
33	0.05034	1.0053	28.011	138.32	2420.7	138.33	2423.4	2561.7	0.4781	8.3927	33
34	0.05324	1.0056	26.571	142.50	2422.0	142.50	2421.0	2563.5	0.4917	8.3728	34
35	0.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	8.3531	35
36	0.05947	1.0063	23.940	150.85	2424.7	150.86	2416.2	2567.1	0.5188	8.3336	36
38	0.06632	1.0071	21.602	159.20	2427.4	159.21	2411.5	2570.7	0.5458	8.2950	38
40	0.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	8.2570	40
45	0.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	8.1648	45

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

Source: Tables A-2 through A-5 are extracted from J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.

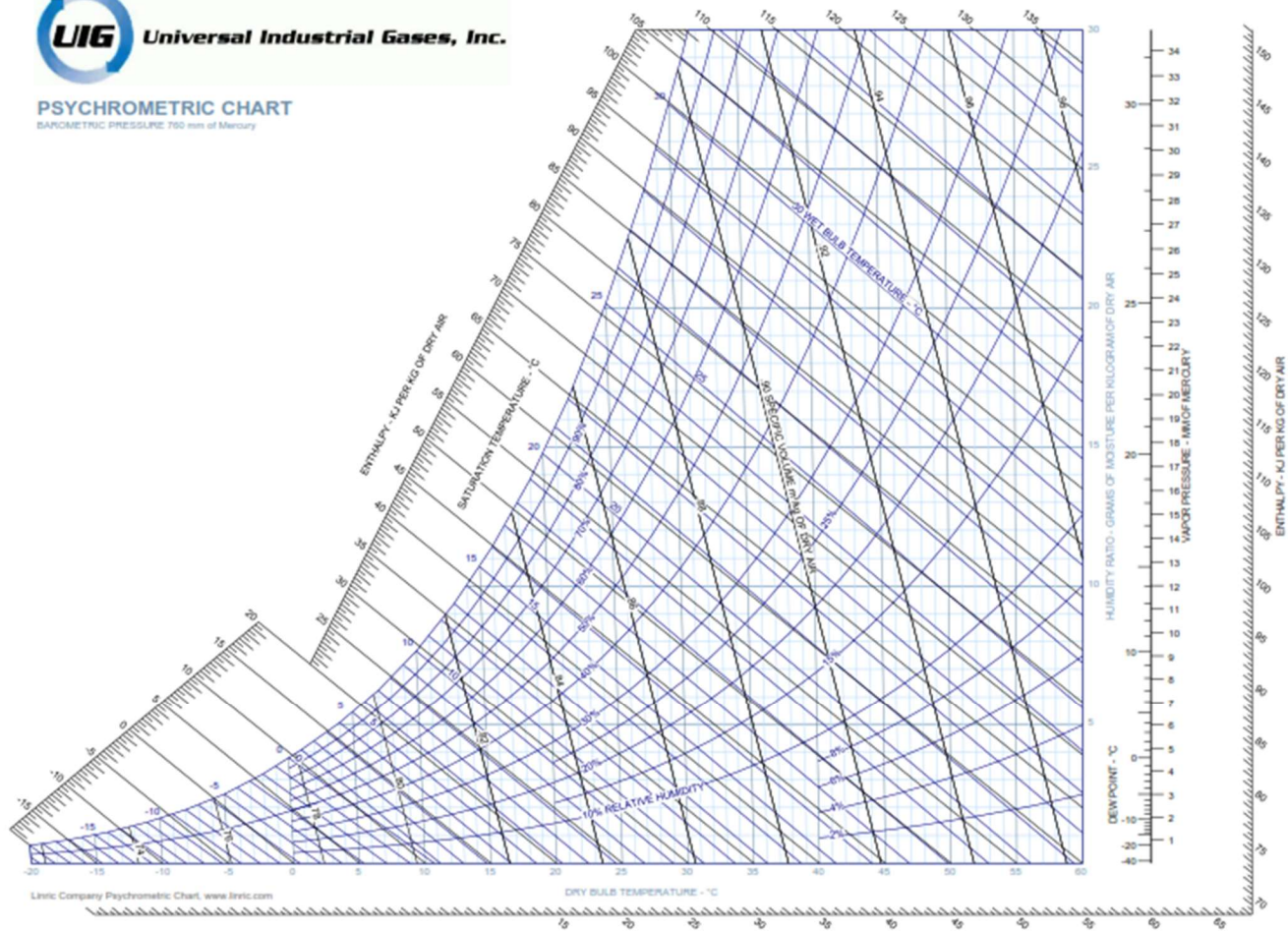


Friction factor as a function of Reynolds number and relative roughness for round pipes.
Gambar A.1 Diagram Moody

(Sumber : <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1518/Moody%20Chart.pdf>)



PSYCHROMETRIC CHART
BAROMETRIC PRESSURE 760 mm of Mercury



Gambar A.2 Diagram Psychrometri

(Sumber : http://www.uigi.com/UIGI_SL.PDF)



LAMPIRAN 2

1. Manual Book Petrol Engine CM11



CM SERIES: INTERNAL COMBUSTION ENGINES
GASOLINE ENGINE – CM11MKII



BIOFUEL COMPATIBLE



Typical CM11MKII mimic diagram



Integrated eddy current dynamometer to vary engine load

FEATURES

- > Modern, high efficiency, 3-cylinder automotive engine
- > Biofuel compatible
- > Integrated eddy current dynamometer to vary engine load
- > Plotting of characteristic torque and power curves against engine speed
- > Full software control of system, including load and throttle settings
- > Closed loop software control of brake loading to maintain constant engine speed during measurements
- > User control of ignition timing and fuel injection now standard
- > Secondary water cooling by heat exchanger, with measurement of temperature change and flow rate
- > MkII version fitted with wideband Lambda sensor for improved performance
- > Remote emergency stop, and facility for safety interlocks
- > Optional operation on LPG as well as gasoline and biofuel
- > Optional measurement of cylinder pressure, and plotting this on a p-V diagram

The Armfield CM11MKII biofuel compatible, Gasoline Engine provides a self-contained engine test rig, which enables students to investigate a range of engine performance characteristics.

The unit is designed to be linked to a computer, and is supplied with sophisticated educational data acquisition software.





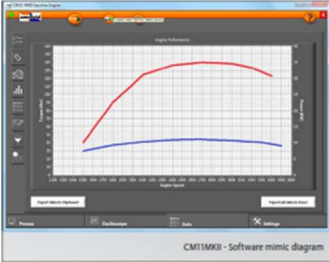




*Holding Licence

This data sheet is available online at:
www.armfield.co.uk/cm11mkii

ISSUE 2

DESCRIPTION	TECHNICAL SPECIFICATION	OPTIONS	INSTALLATION
<p>The Armfield CM11MkII is a self-contained integrated, multi-cylinder engine, dynamometer and instrumentation system, based on a VAG (Volkswagen Automotive Group) 1.2 Litre, 3-cylinder engine, as used in a number of VW cars. This engine is a modern design, with electronic engine management of ignition and fuel injection settings.</p> <p>The Armfield CM11MkII can be run on a wide variety of biofuels and ethanol mixes. It can be used for fuel testing and comparison exercises. (After each run on non-standard fuel, the engine should be run for a short time on standard gasoline.)</p> <p>An eddy current dynamometer provides a variable load on the engine, enabling the characteristic power and torque curves to be reproduced in the laboratory. The system comes complete with extensive instrumentation, including RPM measurement, torque (from which power can be calculated), plus various temperatures, pressures and flows (see Technical Specification).</p> <p>The whole system is designed to be linked to a computer using the software provided. This provides real time monitoring of the various sensors, with a wide range of data logging and graphical display options. The dynamometer and throttle can both be controlled electronically, which makes installation into a closed test cell very straightforward, and enables for remote operation. A safety 'watchdog' facility ensures the system shuts down safely in the event of computer failure or software lock-up.</p> <p>The interfaces are compatible with packages such as LabVIEW™ and MatLab for users who wish to provide their own control and monitoring software. A further advantage of the computer control is that stable RPM readings can be easily achieved using the closed loop control function on the dynamometer drive.</p> <p>A closed loop primary water-cooling system is incorporated, complete with a heat exchanger for connecting into a secondary cold water supply.</p> <p>A feature of the system is the Engine Control Unit (ECU), which controls the ignition timing and fuel injection characteristics. The user has full access to this information, and advanced users can vary the parameters to explore engine performance under different conditions.</p> <p>Also the injector opening times are available from the ECU software and they can be used to calculate accurate fuel consumption.</p> <p>The ECU software can either be run on the same computer as is used for control and data logging, or can be run on a separate computer.</p>	<p>Engine Data</p> <p>Engine Model: VAG type AWY Displacement: 1198cc Bore: 76.5mm Stroke: 86.9mm Cylinders: 3 (6 valve) Nominal Power: 40kW @ 4700 rpm (running on gasoline) Nominal Torque: 106Nm @ 3750 rpm (running on gasoline)</p> <p>Dynamometer Data</p> <p>Dynamometer Type: Eddy current Cooling: Air cooled Max Power: 55kW for 20 minutes</p> <p>Instrumentation and Sensors:</p> <p>Engine speed counter Load cell to measure torque Inlet air flow measured by orifice plate Inlet air temperature Secondary cooling water flow and temperatures (inlet and outlet) Lambda sensor (wideband)</p>  <p>CM11MkII - Software mimic diagram</p>	<p>The CM11MkII can be ordered with a number of optional accessories. These must be ordered with the CM11MkII. They cannot be fitted retrospectively.</p> <p>CM11-12 Engine Indicator Set</p> <p>The engine indicator set comprises a high temperature pressure sensor integrated into a spark plug. A separate charge amplifier provides signal conditioning to generate a voltage that can be logged on the computer. A special routine in the Armfield software enables for high speed data acquisition of this signal, and automatically plots the results on a p-V diagram. Note: The spark plug used in this arrangement is not identical to the other sparkplugs. This sensor is a high precision unit and is physically delicate.</p> <p>CM11-13 LPG Fuel System</p> <p>The Liquid Petroleum Gas (LPG) option includes the pipework, solenoid valves, injectors and an LPG control unit to enable the engine to be run on LPG as well as gasoline. The engine is started on gasoline, and when hot enough, can be switched to run under LPG.</p> <p>The equipment is supplied with a flexible feed pipe terminating in a 6mm OD copper tube and a self sealing quick release connector suitable for fitting to the LPG bottles available in many countries.</p> <p>The user must supply a liquid offtake LPG bottle, and if necessary a suitable fitting to the feed pipe.</p>	<p>The CM11MkII should be installed in a well ventilated area with exhaust gas extraction facilities. The unit is supplied on wheels for ease of movement, these can be removed and the unit bolted to the floor for permanent installation.</p> <p>Apart from the master on/off switch, and the cooling water, everything can be controlled remotely enabling the engine to be installed in a dedicated test cell, and operated from outside the cell. It is supplied with a 5m USB lead, giving a maximum distance between the unit and the controlling computer of approximately 4m.</p> <p>REQUIREMENTS</p> <p>Electricity: 220-240V, single phase, 10 Amps Cooling water: 6 l/min at 3 bar pressure, <20°C The user must have access to one or two PCs (according to preference).</p> <p>See Essential Equipment for further requirements.</p> <p>ESSENTIAL EQUIPMENT</p> <p>Two free USB ports are required, one to run the Armfield data logging and control software, and one to run the ECU software.</p> <p>OVERALL DIMENSIONS</p> <p>Height: 1.50m Width: 1.50m Depth: 1.00m</p> <p>SHIPPING SPECIFICATION</p> <p>Volume: 3.00m³ Weight: 500kg (approx.)</p>

DISCOVER WITH armfield

THE CM RANGE OF EQUIPMENT

- CM11-MkII: Gasoline Engine BIOFUEL COMPATIBLE
- CM12: Automotive Diesel Engine BIO DIESEL COMPATIBLE
- CM14: Axial Flow Gas Turbine

ORDERING SPECIFICATION

- A modern, automotive, high efficiency 3-cylinder, 1.2 litre, water cooled, normally aspirated engine complete with all services and ancillaries required to run the engine in a laboratory environment
- Biofuel compatible
- Variable load, eddy current dynamometer, which acts as a brake, enabling direct measurement of engine torque
- Dynamometer completely integrated with the engine, mounted within the same frame
- Ignition and Injection Control system as standard, enables user to investigate the effects of alterations to fuel injection and ignition timing
- Supported on strong tubular steel framework via flexible mounts. Frame houses fuel tanks, battery, electrical enclosures, etc.
- Protected by guards around all moving parts, and around key hot surfaces
- Throttle and brake load can be controlled remotely
- Standard instrumentation includes sensors for:
 - Engine speed
 - Torque
 - Air flow
 - Cooling water temperature (inlet and outlet of heat exchanger)
 - Cooling water flow
 - Exhaust gas Lambda sensor
- Sensor variables are logged in real time on a customer supplied computer via a USB interface, using sophisticated educational software. The software includes full data logging and analysis functions, and incorporates detailed teaching material
- Optional Engine Indicator Set enables production of real time p-V diagram
- Optional LPG System enables engine to run on LPG fuel



Armsoft Windows™ compatible software



FOR FURTHER INFORMATION ON THE ADVANCED FEATURES OF THE SOPHISTICATED ARMFIELD SOFTWARE VISIT:
www.discoverarmfield.co.uk/data/armsoft

ISO 9001:2008

ISO 9001

2 years

Find us on YouTube!
www.youtube.com/user/armfieldUK
 Follow us on Twitter, Facebook, LinkedIn and WordPress

Head Office:
 Armfield Limited
 Bridge House, West Street,
 Ringwood, Hampshire,
 BH24 1DY England
 Telephone: +44 1425 478781
 Fax: +44 1425 470916
 E-mail: sales@armfield.co.uk

U.S. Office:
 Armfield Inc.
 9 Trenton - Lakewood Road
 Clarksburg NJ 08510
 Tel/Fax: (609) 208-2800
 E-mail: info@armfieldinc.com

Scan QR code* to visit our website
* Scan with smartphone with QR code scanning software installed.






An ISO 9001 Company
 Innovators in Engineering Teaching Equipment

learn more! www.armfield.co.uk

© 2014 Armfield Ltd. All Rights Reserved
 We reserve the right to amend these specifications without prior notice. EG/06 01/14/3k
 Correct at time of going to press.

2. Katalog fan cooling tower

DRUM FAN

PICTURE	CODE	DIAMETER	JUMLAH	SPEED	AIR FLOW		PWR	NOISE	PH
		INCH / MM	BLADE	RPM	CMH	CFM	W	DB(A)	
DRUM FAN STANDARD									
	DFS-D08/1	08 / 200	4	1,350	442	260	30	47	1
	DFS-D10/1	10 / 250	4	1,350	683	402	40	48	1
	DFS-D12/1	12 / 300	4	1,350	984	579	55	53	1
	DFS-D14/1	14 / 350	4	1,350	1,350	794	70	61	1
	DFS-D16/1	16 / 400	4	1,400	3,900	2,294	150	64	1
	DFS-D16/3	16 / 400	4	1,400	3,900	2,294	150	64	3
	DFS-D20/1	20 / 500	4	1,400	5,702	3,354	350	67	1
	DFS-D20/3	20 / 500	4	1,400	5,702	3,354	350	67	3
	DFS-D24/1	24 / 600	4	1,400	8,704	5,121	600	70	1
	DFS-D24/3	24 / 600	4	1,400	8,704	5,121	600	70	3
DFS-D28/1	28 / 700	4	1,400	14,107	8,299	1,100	77	1	
DFS-D28/3	28 / 700	4	1,400	14,107	8,299	1,100	77	3	
DRUM FAN LOW NOISE									
	DFL-12/1	12 / 300	4	1,400	1,450	853	30		1
	DFL-14/1	14 / 350	4	1,400	2,558	1,505	120		1
	DFL-16/1	16 / 400	4	930	4,233	2,490	250		1
	DFL-16/3	16 / 400	4	930	4,233	2,490	250		3
	DFL-20/1	20 / 500	4	960	7,139	4,200	370		1
	DFL-20/3	20 / 500	4	930	7,139	4,200	370		3
	DFL-24/1	24 / 600	4	930	12,341	7,260	1,100		1
DFL-24/3	24 / 600	4	930	12,341	7,260	1,100		3	
DRUM FAN EXTRA LOW NOISE									
	DFL-EX10/1	10 / 250	3	1,400	1,200	706	60		1
	DFL-EX12/1	12 / 300	3	1,400	1,680	988	70		1
	DFL-EX14/1	14 / 350	3	1,400	1,980	1,165	120		1
	DFL-EX16/1	16 / 400	3	1,400	3,900	2,294	200		1
	DFL-EX18/1	18 / 450	3	1,400	5,400	3,177	350		3
	DFL-EX20/1	20 / 500	3	1,400	7,320	4,306	550		1
	DFL-EX20/3	20 / 500	3	1,400	7,320	4,306	550		3
DFL-EX24/1	24 / 600	3	960	7,200	4,236	300		1	
DFL-EX24/3	24 / 600	3	960	7,200	4,236	300		3	

3. Prosedur Pengoperasian *petrol engine* CM11

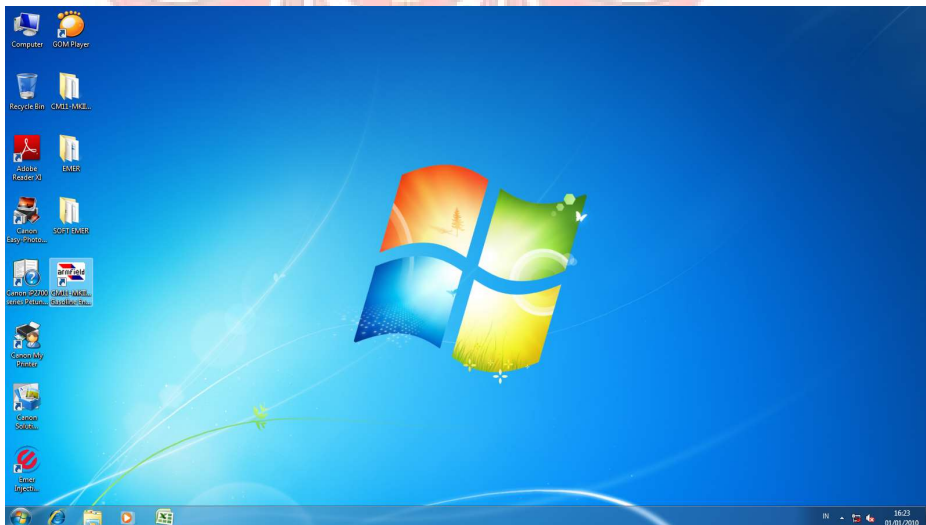
A. Persiapan Pengoperasian *Petrol Engine*

1. Memasang selang air untuk saluran air pendingin dari petrol-engine ke bak penampungan.
2. Menjalankan pompa air untuk mengalirkan air pendingin pada petrol-engine.
3. Mengecek volume air pendingin di dalam radiator.
4. Mengecek volume bahan bakar petrol-engine.

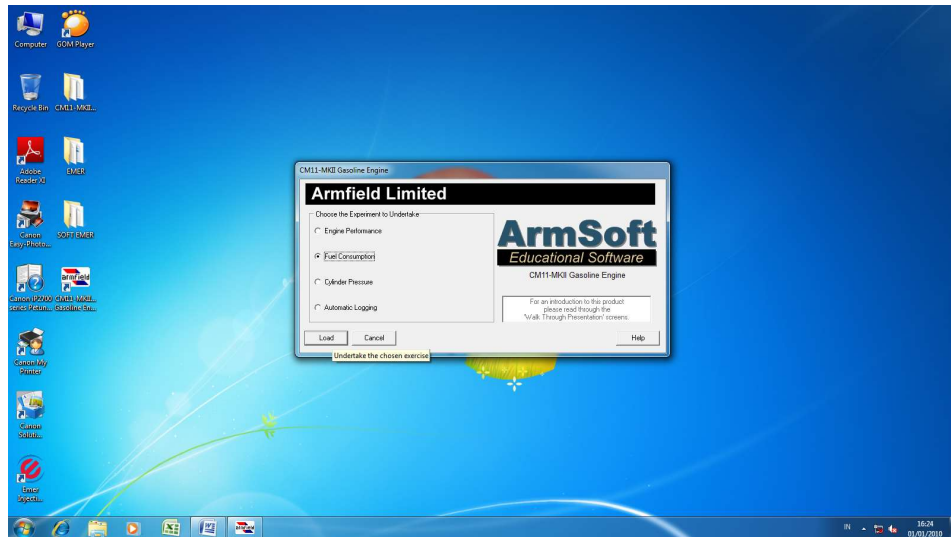
B. Langkah Operasi (Operasi Pengujian)

Percobaan *Fuel Consumption*

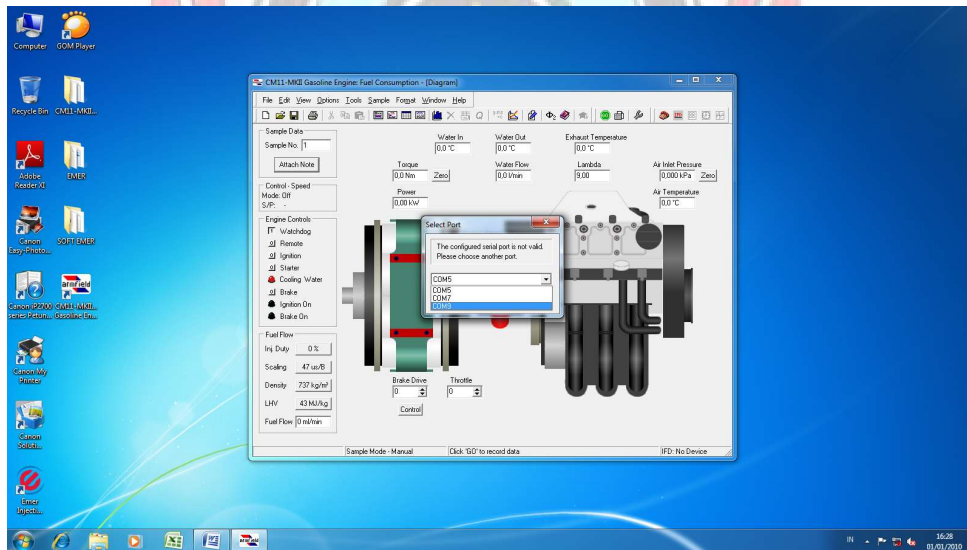
1. Meng-On-kan saklar utama untuk Laboratorium Motor Bensin pada panel kontrol utama.
2. Meng-On-kan saklar instalasi yang ada didalam ruangan Petrol Engine (berada pada dinding sebelah barat).
3. Menjalankan komputer yang terhubung dengan petrol-engine.
4. Membuka aplikasi petrol-engine aplikasi **ARMFIELD CM11** di Desktop.



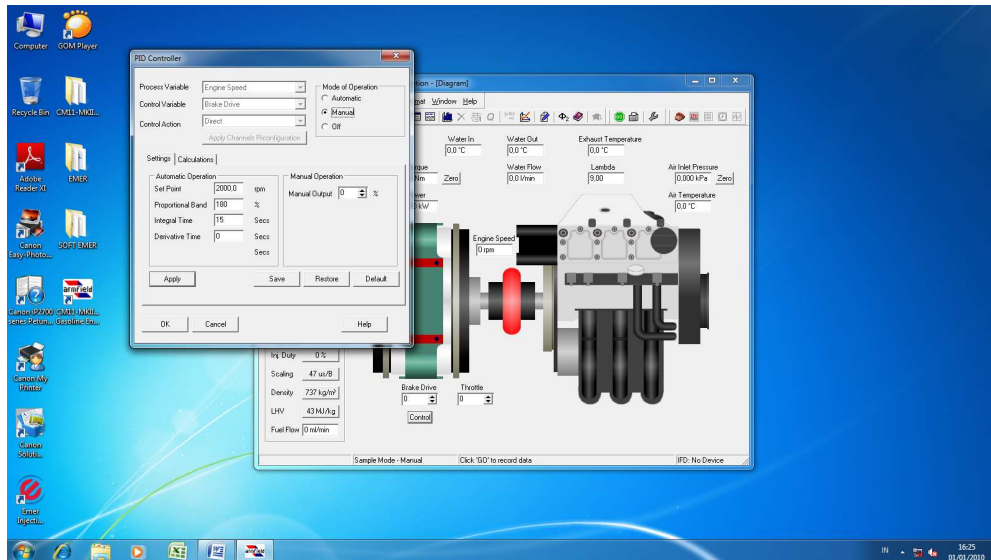
5. Memilih pilihan *Fuel Consumption*, kemudian klik **Load**.



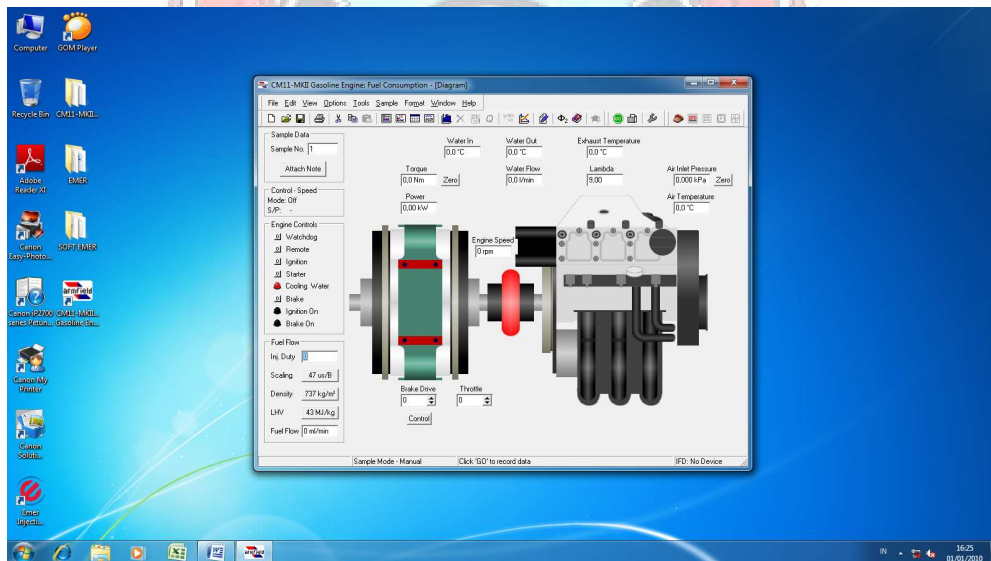
6. Menghubungkan computer dengan petrol-engine dengan meng-klik **Tools telepon**. Kemudian mengubah hubungan menjadi **COM 9**.



7. Membuka katup air untuk menara pendingin dengan kecepatan 12 l /mnt.
8. Mengklik **Tools Kontrol**, Kemudian klik **Manual** lalu **set 12 %**, **3000 rpm**, kemudian klik **Apply** → **Save**. Kemudian klik **Automatic** lalu **Apply** → **Save**.



9. Memulai start dengan mengeklik, **Remote**→**Ignition**→**Start**.



10. Setelah mesin beroperasi, menaikkan **Throttle** 10 %. Kemudian aktifkan **Brake**.

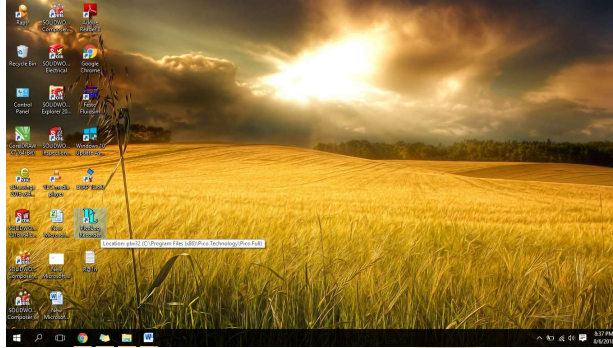
11. Setelah itu, membuka **Tools Tabel**, kemudian mengatur **Automatic** untuk pembacaan, kemudian menjalankan **Start Tabel**. Kemudian akan secara otomatis **Brake** naik untuk mencapai putaran yang telah ditentukan.

12. Setelah mencapai putaran yang diinginkan kembali masuk ke **Tools Tabel** lalu mengeklik **Stop**. Perlahan menurunkan **Throttle** nol.
13. Kemudian menyimpan data dengan nama percobaan untuk putaran 12 liter/mnt.
14. Melakukan langkah 8 sampai langkah 13 dengan menaikkan laju aliran air pada 16 liter /mnt, 20 liter/mnt dan 24 liter/mnt.
15. Setelah itu menyalin data dengan **Flashdisk**, Kemudian menutup aplikasi.
16. Mematikan computer, kemudian Meng-Off-kan saklar instalasi yang ada didalam ruangan Petrol Engine (berada pada dinding sebelah barat).
17. Terakhir menutup katup air pendingin, lalu mematikan pompa air. Kemudian menggulung selang air.

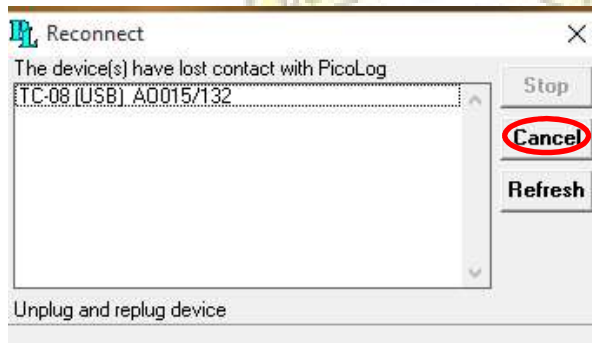


4. Tahap prosedur pengoperasian *software* picolog

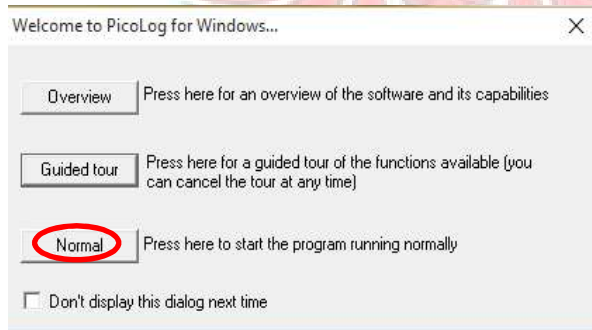
- 1) Membuka/ mengklik software picolog pada layar desktop



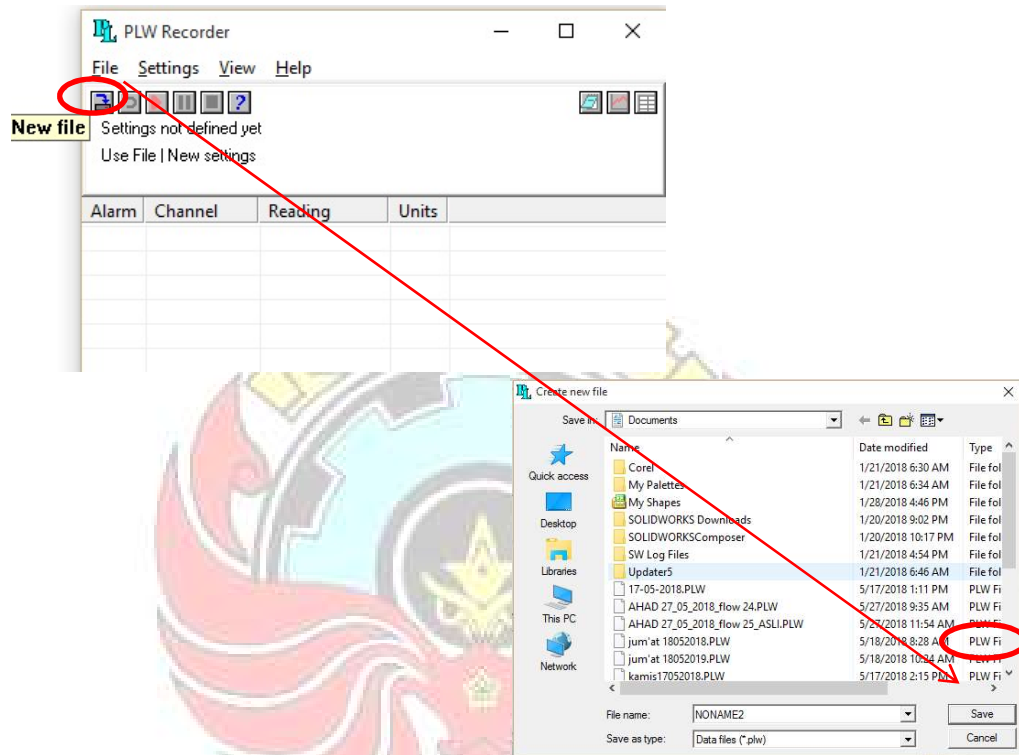
- 2) Setelah membuka software maka akan muncul icon kemudian klik cancel



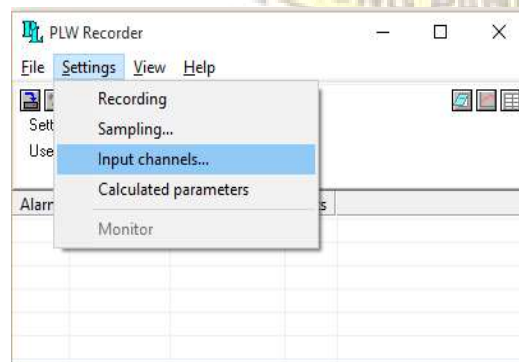
- 3) Pilih icon normal

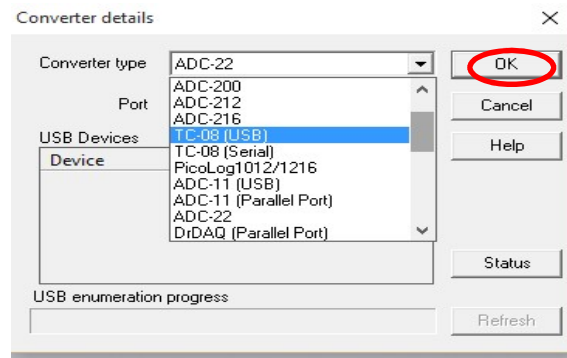


- 4) Maka akan muncul tampilan seperti dibawah ini kemudian klik new file untuk membuat project baru, pilih save

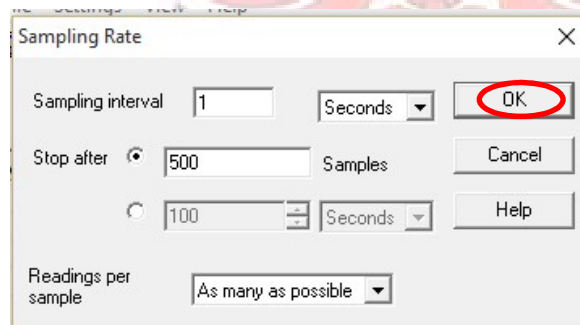
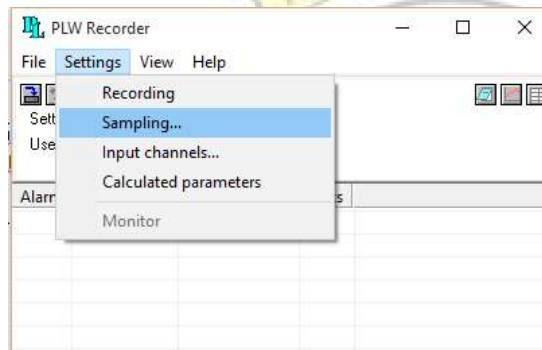


- 5) kembali ke menu utama kemudian pilih setting, klik input channel, klik TC-08(USB) pada converter type lalu pilih OK

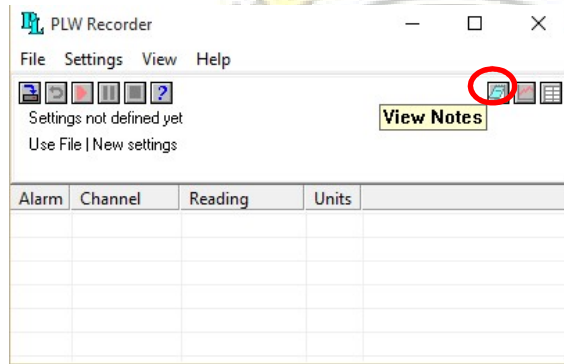
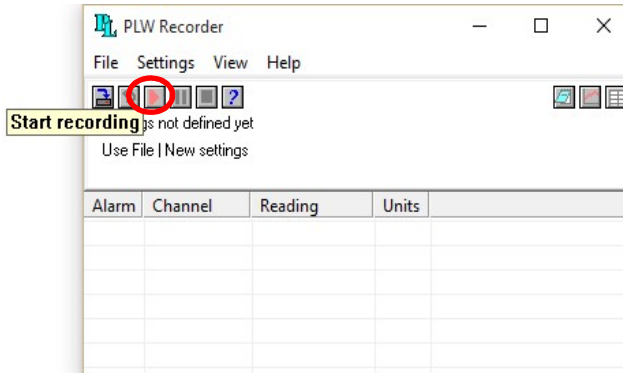




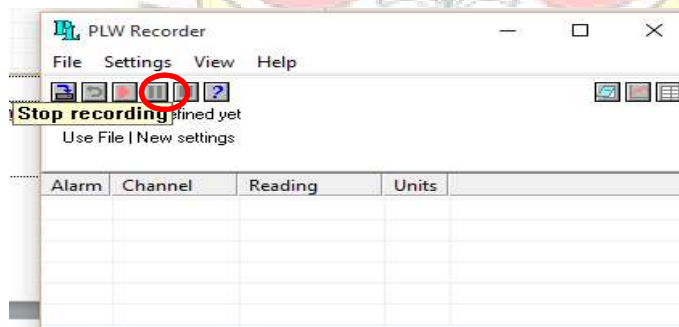
- 6) kembali ke menu utama kemudian pilih setting, klik sampling, atur waktu pengambilan data dengan memasukkan ke sampling interval, pilih OK



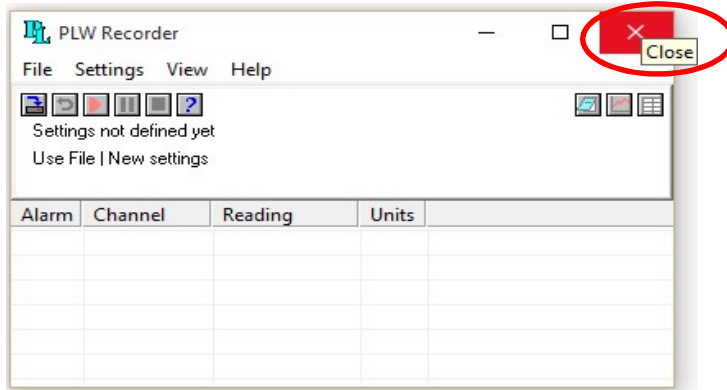
- 7) kembali ke menu utama kemudian klik start recording, klik view notes untuk melihat hasil rekaman data



- 8) Setelah pengambilan data selesai maka klik stop



9) Pilih tombol close jika perekaman data telah selesai



10) Demikian prosedur pengoperasian picolog recorder





LAMPIRAN 3

Tabel C.1 Daftar Kegiatan Modifikasi Sistem Pendingin Pada *Petrol Enigne*

NO	NAMA KEGIATAN	Februari				Maret				April				Mei				Juni				Juli				Agustus			
		Pekan				Pekan				Pekan				Pekan				Pekan				Pekan							
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Seminar Proposal	■	■	■																									
2	Inspeksi awal cooling tower							■																					
3	Membersihkan cooling tower							■																					
4	Memastikan kondisi motor fan cooling tower dan Mengecat fan cooling tower									■																			
5	Membersihkan bak cooling tower untuk perawatan										■	■																	
6	Memasang instalasi pemipaan, Membuat dudukan fan cooling tower, Memasang pompa dan Memasang alat ukur											■	■																
7	Menginspeksi tahap kedua												■																
8	Melakukan pengujian pada fan dan pompa													■															
9	Melakukan pengujian cooling tower berbeban dengan heat exchanger petrol-engine CM11 untuk debit air bervariasi Debit air 12 liter/mnt Debit air 16 liter/mnt Debit air 20 liter/mnt Debit air 24 liter/mnt													■	■	■	■												
10	Pengolahan data																	■	■	■	■								
11	Persiapan Penyelesaian Tugas Akhir : Asistensi data pengamatan dan Hasil Pengolahan data			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
12	Pendaftaran Seminar Hasil Tugas akhir																										■		
13	Seminar Hasil																										■		



Sebelum



Sesudah

Gambar C.1 *Cooling Tower* Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi



Sebelum



Sesudah

Gambar C.2 *Fan Cooling Tower* Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi



Sebelum



Sesudah

Gambar C.3 *Petrol Engine* CM11 Sebelum Dan Sesudah Dimodifikasi



(a)



(b)



(c)

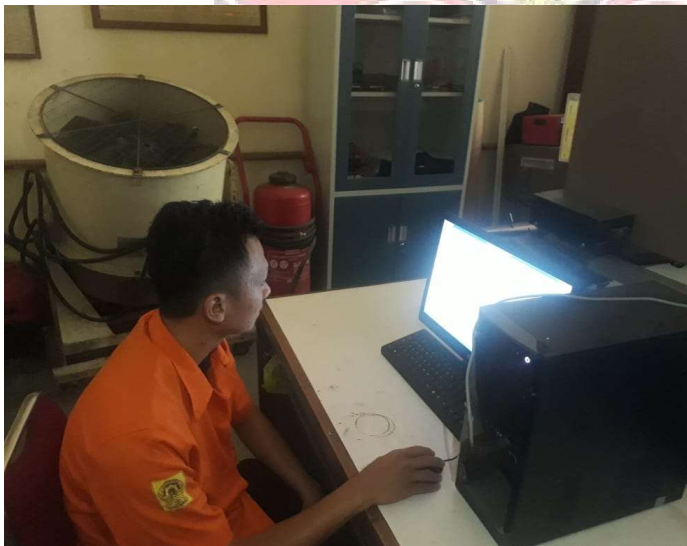


(c)



(d)

Gambar C.4 (a - d) Modifikasi Sistem Pendingin Pada *Petrol Engine* CM11



(a) Lab. Motor Bakar



(b) Area *Cooling Tower*

Gambar C.5 Pengujian Sistem Pendingin Pada *Petrol Engine* CM11

LAPORAN KEUANGAN BIAYA TUGAS AKHIR
"MODIFIKASI SISTEM PENDINGIN PADA PETROL-ENGINE CM11"

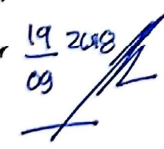

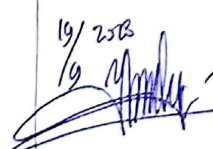
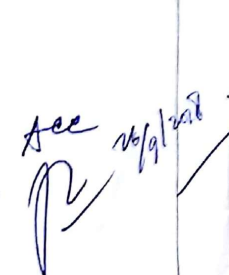
No	Nama Barang	Spesifikasi	Jumlah unit	Satuan	Harga/Unit	Jumlah
1	Pompa	125 watt	1	unit	Rp 810,000.00	Rp 810,000.00
2	Pipa PVC	1 inc	7	batang / 4 meter	Rp 45,000.00	Rp 315,000.00
4	Baut dan Mur	12 M	20	buah	Rp 500.00	Rp 10,000.00
5	Lem Pipa	Truglue	2	buah	Rp 10,000.00	Rp 20,000.00
6	Gate valve	1 inc	1	buah	Rp 30,000.00	Rp 30,000.00
7	Reducer PVC	2" to 1"	6	buah	Rp 7,500.00	Rp 45,000.00
8	Reducer PVC	1" to 1/2 inc	2	buah	Rp 3,000.00	Rp 6,000.00
9	Flange	2"	2	buah	Rp 60,000.00	Rp 120,000.00
10	Watermoor	1"	3	buah	Rp 15,000.00	Rp 45,000.00
11	Islolasi Pipa	1.5 mili	2	buah	Rp 3,500.00	Rp 7,000.00
12	Ball Valve	1"	2	buah	Rp 15,000.00	Rp 30,000.00
13	SDL	1"	2	buah	Rp 3,000.00	Rp 6,000.00
14	Elbow	1 inc	12	buah	Rp 3,000.00	Rp 36,000.00
15	Flowmeter	Digital	1	buah	Rp 475,000.00	Rp 475,000.00
16	Sling	tabung kaca	1	unit	Rp 88,000.00	Rp 88,000.00
17	Sensor Suhu	Digital	4	unit	Rp 24,000.00	Rp 96,000.00
18	MCB	2 Ampere	1	unit	-	-
19	Tor	6 Ampere	1	unit	-	-
20	Kabel NYA	1x2.5 mm	2	meter	-	-
21	Kabel NYMHY	2x2.5mm	3	meter	Rp 15,000.00	Rp 45,000.00
22	Barometer	Ps(Tekanan Suction)	1	unit	Rp 60,000.00	Rp 60,000.00
23	Barometer	Pd(Teknana Dischsрге)	1	unit	Rp 30,000.00	Rp 30,000.00
24	Sadel pipa	1"				Rp -
25	Ram Baja	baja	1	meter	Rp 25,000.00	Rp 25,000.00
26	Klep Pipa	1"	10	buah	Rp 2,000.00	Rp 20,000.00
27	Fisher dan Baut	12 mili	17	buah	Rp 1,500.00	Rp 25,500.00
28	Fisher plastik	12	3	buah	Rp 500.00	Rp 1,500.00
29	Shok	1"	2	buah	Rp 2,000.00	Rp 4,000.00
30	Baut Dinabolt	12x50	2	buah	Rp 2,500.00	Rp 5,000.00
31	Lem Fiber		1	set	Rp 45,000.00	Rp 45,000.00
32	Fiber	56x80x0.5	1	papan	Rp 110,000.00	Rp 110,000.00
33	Baut klep	5 mili	20	buah	Rp 200.00	Rp 4,000.00
34	Isolasi Listrik	0.13mm x 19mm x 20 meter	1	buah	Rp 6,000.00	Rp 6,000.00
Jumlah Total						Rp 2,520,000.00

LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

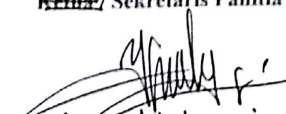
Nama : Hadi Syamsuddin / A.M. Ayub Ali

NIM : 44214010 / 4421420

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	Musrady Mulyadi, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - Cantumkan Data awal sebelum melakukan modifikasi (ketika masih menggunakan cooling pond) terutama data 2 temperatur - Gambar bagian dalam cooling tower - 4.2 Analisis Eut. Pendingin - hal 66 → efisiensi Fan - kesimpulan no 2, Saran no. 3 	<p>19/2018 09</p> 
2.	Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D.	<ul style="list-style-type: none"> - hal 48 (rangkaiannya) - Diagram T-A (temperatur thd luas penampang) - Gambar, jika perlu ditambahkan 	
3.	Yiwin Klistafani, S.T., M.T.	<ul style="list-style-type: none"> - abstract tidak perlu - daftar simbol, daftar pustaka - Pengutipan → daftar pustaka - Gambar Irisan tan. cooling tower - penulisan persamaan - arah pompa, pd gambar - satuan 2 pd perhitungan - sumber gambar - dll yang tertera pada Revisi TA 	<p>19/2018 19</p> 
4.	Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D.	<ul style="list-style-type: none"> - abstract - Berikan penjelasan rangkaian + kontrol Daya pompa dan Fan - perhitungan perhitungan → - hal 66, perhitungan - tampilan grafik sebaiknya menggunakan jenis garis - legend grafik diberikan keterangan yg lengkung untuk - ah kembali temperatur udara dan temperatur bola basah 	<p>Ace 16/9/2018</p> 

Makassar,
Ketua/ Sekretaris Panitia Ujian Sidang,


Yiwin Klistafani, S.T., M.T.
 NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.