

ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN RODA AIR YANG
BERFUNGSI GANDA SEBAGAI PEMBANGKIT DAYA DAN
AGITATOR



SKRIPSI

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

TAUFIQ HIDAYATULLAH 442 15 018
AZNIA KARIM 442 15 020

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2019

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Roda Air yang Berfungsi Ganda Sebagai Pembangkit Daya dan *Agitator*” oleh Taufiq Hidayatullah (44215018) dan Aznia Karim (44215020) telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2019

Pembimbing I



Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 199103 1 028

Pembimbing II



Ir. Lewi, M.T.
NIP. 19650913 199103 1 006

Mengetahui,

Kepala Program Studi
Teknik Pembangkit Energi



Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP. 19601231 19903 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Selasa tanggal 3 September 2019, Tim penguji Ujian Skripsi telah menerima dengan baik hasil ujian skripsi oleh mahasiswa: Taufiq Hidayatullah NIM 44215018 dan Aznia Karim NIM 44215020 dengan judul "Analisis Unjuk Kerja Turbin Roda Air yang Berfungsi Ganda Sebagai Pembangkit Daya dan *Agitator*"

Makassar, 3 September 2019

Tim Seminar Skripsi :

1. Ir. La Ode Musa, M.T.

Ketua ()

2. Yiyin Klistafani, S.T., M.T.

Sekretaris ()

3. Sonong, S.T., M.T.

Anggota ()

4. Ir. Chandra Buana, M.T.

Anggota ()

5. Dr. Ir. Fiman, M.T.

Anggota ()

6. Ir. Lewi, M.T.

Anggota ()

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas Berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Roda Air Yang Berfungsi Ganda Sebagai Pembangkit Daya Dan *Agitator*”.

Skripsi ini kami laksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, banyak sekali pihak yang telah terlibat dan berperan serta untuk mewujudkan selesainya Skripsi ini. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas dukungan doa, kasih sayang, serta materinya yang tak terhingga nilainya.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D. 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. La Ode Musa, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T. selaku Pembimbing I pada penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Lewi, M.T. selaku Pembimbing II pada penyusunan skripsi ini.

7. Para Dosen dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya kepada penulis.
8. Kemenristekdikti yang telah memberikan dana dalam program kreatifitas mahasiswa (PKM) pendanaan tahun 2019
9. Rekan – rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas IV Teknik Pembangkit Energi angkatan 2015.

Selama penyusunan skripsi, penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam menyempurnakan penulisan ini. Namun sebagai manusia biasa, penulis tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan baik dari segi keterbatasan ilmu, teknik penulisan maupun tata bahasa. Untuk itu dengan segala kerendahan hati, penulis memohon maaf dan membuka diri untuk setiap kritik dan saran demi perbaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang Teknik Pembangkit Energi.

Makassar, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
SURAT PERNYATAAN	xv
RINGKASAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sistem Kerja PLTU	5
2.2 Sistem Air Pendingin PLTU	7
2.3 Peraturan Lingkungan	10
2.3.1 Kenaikan Suhu	11
2.3.2 Kandungan Klorin	12
2.4 Perpindahan Kalor	13

2.4.1 Panjang Masuk <i>Thermal</i> dan Hidrodinamik	15
2.4.2 Aliran Berkembang Penuh	15
2.5 Metode Untuk Meningkatkan Efektivitas	18
2.5.1 Agitator Baling – Baling (Propeller)	18
2.5.2 Agitator Dayung (Paddle)	19
2.5.3 Agitator Turbin	20
2.5.4 Agitator Helical-Ribbon	22
2.6 Turbin Air Undershoot	23
 BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	25
3.2 Alat dan Bahan	25
3.3 Teknik Pengumpulan Data	25
3.4 Teknik Analisis Data	30
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Data Hasil Penelitian	33
4.1.1 Pengujian tanpa Menggunakan Turbin Roda Air	33
4.1.2 Pengujian dengan Menggunakan Turbin Roda Air	35
4.2 Grafik dan Pembahasan	39
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan untuk baku mutu air limbah pada sistem pendingin.....11



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Konversi Energi Pada PLTU.....	6
Gambar 2.2 Skema PLTU.....	9
Gambar 2.3 Waste Water Pit PLTU ANTAM Tbk.	14
Gambar 2.4 Agitator Baling–Baling (a) Daun Dipertajam, (b) Baling – Baling Kapal, (c) Baling – Baling Daun	19
Gambar 2.5 Agitator Dayung (Paddle) Berdaun Dua.....	19
Gambar 2.6 Agitator Turbin dengan Berbagai Variasi.....	21
Gambar 2.7 Agitator (a), (b) & (c) Helical-Ribbon, (d) Semi-Spiral.....	22
Gambar 3.1 Skema Pengujian	28
Gambar 3.2 Desain turbin roda air dengan variasi sirip (a) tiga sirip, (b) dua sirip, (c) satu sirip di bagian tengah, dan (d) satu sirip di bagian pinggir .	29
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 4.1 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 38 \text{ lt/mnt}$	39
Gambar 4.2 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 48 \text{ lt/mnt}$	39
Gambar 4.3 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 60 \text{ lt/mnt}$	40
Gambar 4.4 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 38 \text{ lt/mnt}$.	41
Gambar 4.5 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 48 \text{ lt/mnt}$.	41
Gambar 4.6 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 60 \text{ lt/mnt}$.	42

Gambar 4.7 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Nilai Debit yang Bervariasi	43
Gambar 4.8 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Tiga Sirip (Q = 38 lt/mnt)	44
Gambar 4.9 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Tiga Sirip (Q = 48 lt/mnt)	44
Gambar 4.10 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Tiga Sirip (Q = 60 lt/mnt)	45
Gambar 4.11 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Dua Sirip (Q = 38 lt/mnt)	46
Gambar 4.12 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Dua Sirip (Q = 48 lt/mnt)	46
Gambar 4.13 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Dua Sirip (Q = 60 lt/mnt)	47
Gambar 4.14 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Tengah (Q = 38 lt/mnt)	48
Gambar 4.15 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Tengah (Q = 48 lt/mnt)	48
Gambar 4.16 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Tengah (Q = 60 lt/mnt)	49
Gambar 4.17 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Pinggir (Q = 38 lt/mnt)	49
Gambar 4.18 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Pinggir (Q = 48 lt/mnt)	50

Gambar 4.19 Hubungan Antara Putaran Terhadap Efisiensi Turbin dan Daya Output pada Pengujian Turbin Roda Air dengan Satu Sirip dibagian Pinggir ($Q = 60 \text{ lt/mnt}$) 50



DAFTAR SIMBOL

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
q_c	W	Laju perpindahan kalor secara konveksi
\bar{h}_c	W/m ² .K	Koefisien perpindahan kalor konveksi
P	m	Panjang saluran
L	m	Lebar saluran
b	m	Kedalaman air
H	m	Ketinggian air
A	m ²	Luas saluran
T_1	°C	Temperatur fluida sebelum melewati turbin roda air
T_2	°C	Temperatur fluida setelah melewati turbin roda air
\bar{T}	°C	Temperatur rata-rata fluida
ΔT	°C	Perbandingan temperatur antara T_1 dan T_2
ρ	Kg/m ³	Massa jenis fluida
v	m/s	Kecepatan aliran
Q	m ³ /s	Debit air
D_h	m	Diameter hidrolis
μ	Kg/m.s	Viskositas dinamik
ν	m ² /s	Viskositas kinematik
C_p	KJ/kg.K	Kalor spesifik fluida pada tekanan tetap
K	W/m.K	Konduktivitas <i>thermal</i>

<i>Re</i>	-	Bilangan <i>Reynolds</i>
<i>Nu</i>	-	Bilangan <i>Nusselt</i>
<i>Pr</i>	-	Bilangan <i>Prandtl</i>
P	Watt	Daya air yang menggerakkan roda air
g	m/s ²	Gaya gravitasi



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Pengujian tanpa Menggunakan Roda Air	56
Lampiran 2 Data Hasil Pengujian Menggunakan Roda Air	57
Lampiran 3 Hasil Analisis Data Pengujian tanpa Menggunakan Roda Air	70
Lampiran 4 Hasil Analisis Data Pengujian Menggunakan Roda Air	71
Lampiran 5 Dokumentasi Foto Kegiatan	84
Lampiran 6 Tabel Spesifik Air	88
Lampiran 7 Grafik pengujian menggunakan turbin roda air dengan menggunakan debit yang konstan dengan variasi sirip.....	92



SURAT PERNYATAAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Taufiq Hidayatullah / Aznia Karim

Nim : 44215018 / 44215020

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Analisis Unjuk Kerja Turbin Roda Air yang Berfungsi Ganda Sebagai Pembangkit Daya dan Agitator” merupakan gagasan dan hasil karya kami 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 penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

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

Makassar, 3 September 2019

Hormat Saya,



Taufiq Hidayatullah
442 15 018



Aznia Karim
442 15 020

ANALISIS UNJUK KERJA TURBIN RODA AIR YANG BERFUNGSI GANDA SEBAGAI PEMBANGKIT DAYA DAN *AGITATOR*

RINGKASAN

Turbin roda air memanfaatkan aliran dari air buangan suatu pembangkit (PLTU) atau lebih dikenal dengan sebutan *waste water pit* yang memiliki debit yang cukup besar. Roda air akan dikopel dengan generator, sehingga dapat menghasilkan energi listrik yang dapat memenuhi kebutuhan penerangan di kawasan PLTU. Dalam hal ini turbin roda air yang telah dimodifikasi pada penelitian ini yaitu dengan penambahan sirip pada bagian sudunya digunakan sebagai agitator. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai unjuk kerja pembangkit listrik turbin roda air jika diaplikasikan pada *waste water pit* sistem PLTU dan menentukan besarnya penurunan temperatur pada pendinginan limbah di *waste water pit* jika menggunakan turbin roda air sebagai pengaduk.

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu memvariasikan jumlah sirip pada bagian sudu turbin roda air, yang terdiri dari variasi turbin roda air menggunakan satu sirip bagian tengah, satu sirip bagian pinggir, dua sirip dan tiga sirip. Dengan demikian PLTU tidak lagi membutuhkan konstruksi *waste water pit* yang sangat panjang. Karena dengan adanya variasi turbin roda air berfungsi sebagai agitator yang tidak membutuhkan suplai listrik untuk motor penggerak melainkan dari turbin roda air ini dapat dihasilkan energi listrik.

Dalam pengujian ini turbin roda air dengan penambahan tiga sirip pada bagian sudunya akan menambah efektivitas penurunan temperatur air, dimana temperatur awal yaitu 52 °C hingga mencapai temperatur 40 °C setelah melewati turbin roda air. Namun penambahan sirip pada turbin roda air akan memperlambat putaran turbin roda air sehingga daya yang dihasilkan kecil meskipun memanfaatkan nilai debit air yang besar. Sehingga dilakukan pengurangan jumlah sirip yaitu menggunakan satu sirip pada bagian sudu turbin sehingga diperoleh daya output 0,667 Watt dengan $Q = 60$ lt/mnt. Namun nilai penurunan temperatur dengan menggunakan turbin roda air ini kecil yaitu 50,87 °C dengan temperatur awal 52 °C.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mengingat kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang cukup tinggi pada masa sekarang ini maka sangat dibutuhkan pusat-pusat tenaga listrik (*Power Plant*) untuk menyediakan energi listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Pusat tenaga listrik tersebut dapat berupa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain. Di Indonesia Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) mendominasi jumlah kapasitas pembangkit Listrik yang ada. Suatu pembangkit energi listrik khususnya pada tenaga uap, di butuhkan beberapa sistem bantu yang berfungsi sebagai penunjang dari proses pembangkitan tersebut. Ada berbagai sistem bantu seperti, sistem pendingin, sistem oli bertekan, sistem pelumasan dan sistem-sistem lainnya (Iqbal, 2013).

Untuk sistem pendingin merupakan suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over-heating* (panas yang berlebihan) pada mesin agar mesin dapat bekerja secara stabil (Handoyo, 1999). Sistem pendingin yang digunakan pada PLTU sebagian besar menggunakan air laut sebagai media pendingin. Salah satu komponen vital pada PLTU yang membutuhkan air laut adalah kondensor. Kondensor memanfaatkan air laut sebagai media pendingin untuk merubah fasa uap yang telah melewati *LP turbine* menjadi fasa cair yang kemudian dialirkan ke

hotwell untuk sirkulasi agar hasil kondensasi dapat digunakan kembali pada proses selanjutnya. Sebelum air laut masuk ke *intake*, diinjeksikan *chemical* berupa *chlorin* untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme dan juga menghindari *fouling* (Hasan, 2006). Sistem yang digunakan pada proses tersebut ialah *open loop* sehingga air laut yang telah dimanfaatkan akan dibuang kembali ke sumbernya. Ada beberapa macam proses pembuangan air limbah yang dapat digunakan pada PLTU dengan sistem pendingin *openloop* antara lain pembuangan permukaan, pembuangan bawah permukaan, dan pembuangan difusi. Di antara ketiga macam proses tersebut, proses pembuangan permukaan adalah yang paling banyak digunakan pada PLTU.

Salah satu kendala pada sistem pendingin *open loop* ialah air laut yang akan dibuang kembali ke sumbernya belum memenuhi syarat ketentuan baku mutu air limbah pembangkitan. Sehingga pada *waste water pit* dibutuhkan konstruksi saluran yang panjang. Konstruksi saluran *waste water pit* yang panjang dibutuhkan agar terjadi perpindahan panas secara konveksi pada saluran air tersebut untuk mencapai syarat temperatur air limbah pembangkitan yaitu sekitar 30°C. Selain itu dengan konstruksi *waste water pit* yang panjang, sisa *chemical* yang masih terkandung dapat terurai sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan. Pembuangan kalor dengan menggunakan saluran yang panjang merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mencapai syarat ketentuan baku mutu air limbah. Namun pembuangan kalor dengan saluran panjang bukanlah cara yang efektif karena membutuhkan *cost* yang lebih banyak sehingga dibutuhkan inovasi baru berupa pengaplikasian roda air yang berfungsi untuk mempercepat

penurunan temperatur dan penguraian *chemical* yang masih terkandung dalam air buangan limbah. Selain untuk memenuhi syarat ketentuan baku mutu air limbah pembangkitan, roda air ini juga dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan daya untuk penerangan kawasan PLTU.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka masalah dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana unjuk kerja pembangkit listrik turbin roda air jika diaplikasikan pada *waste water pit* sistem PLTU ?
2. Berapa besar penurunan temperatur pada pendinginan limbah air di *waste water pit* jika menggunakan turbin roda air sebagai pengaduk?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut :

1. Unjuk kerja pembangkit listrik turbin roda air pada *waste water pit* pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).
2. Penurunan temperatur pada *waste water pit* pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan unjuk kerja pembangkit listrik turbin roda air jika diaplikasikan pada *waste water pit* sistem PLTU.
2. Menentukan besarnya penurunan temperatur pada pendinginan limbah air di *waste water pit* jika menggunakan turbin roda air sebagai pengaduk.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini ialah :

1. Dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengolahan limbah cair pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).
2. Dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian lanjutan yang berkaitan dengan topik ini.

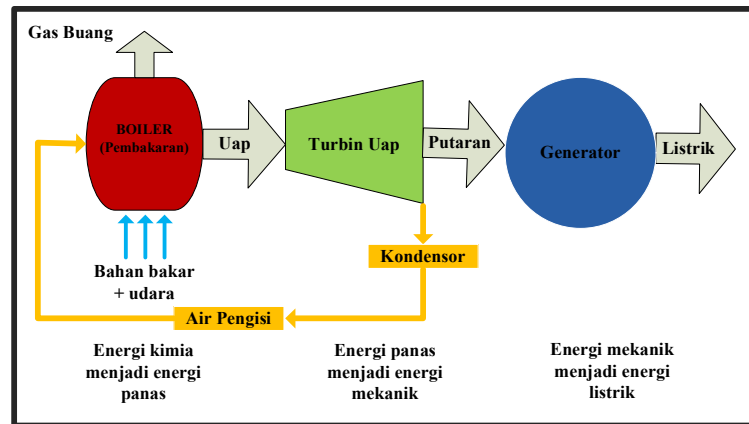


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Kerja PLTU

PLTU adalah suatu pusat pembangkit listrik yang menggunakan tenaga uap sebagai penggerak utama turbin guna menghasilkan tenaga listrik. Pengoperasian Ideal Sebuah PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup (*closed system*) (Simanjuntak, 2015). Sistem ini bekerja dengan menggunakan air sebagai cairan kerja. Air diubah menjadi uap di ketel uap (*boiler*). Keluar dari turbin, uap dimasukkan ke mesin pengembun (kondensor) dengan pendingin berasal dari air, baik air tawar maupun air laut, sehingga mencair kembali, setelah cair, air dipompakan lagi ke ketel uap untuk diuapkan lagi. Sehingga dapat dikatakan PLTU menggunakan fluida yang sama secara berulang – ulang. PLTU adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 (tiga) tahapan yaitu :

1. Energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Proses Konversi Energi

Dibanding jenis pembangkit lainnya PLTU memiliki beberapa keunggulan.

Keunggulan tersebut antara lain :

- Efisiensi tinggi.
- Cocok untuk memenuhi beban dasar.
- Daya yang dihasilkan besar.
- Dapat dioperasikan menggunakan segala jenis bahan bakar (cair, padat atau gas).
- Biaya perawatan murah (penggantian suku cadang tidak terlalu sering).
- Usia mesin (*life time*) relative lama.
- Tidak terlalu sering diadakan pemeriksaan bagian – bagian turbin.

Namun kelemahan yang harus dipertimbangkan dalam memilih jenis pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) ini adalah:

- Proses start lama.
- Membutuhkan lahan yang luas.

- Membutuhkan air pendingin yang cukup banyak sehingga biasanya ditempatkan di daerah yang dekat dengan sumber air yang melimpah.
- Investasi awal mahal
- Proses pembangunan lama
- Emisi gas buang tidak ramah lingkungan (biasanya untuk bahan bakar batubara atau residu)

PLTU berbahan bakar batu bara merupakan jenis pembangkitan listrik yang paling kompleks dengan banyak gabungan prinsip ilmu. Dasar termodinamika sistem dan penerapan siklus rankine membuat PLTU terdiri dari komponen – komponen kompleks dan membentuk siklus - siklus dalam pengoperasiannya (Iqbal, 2013). Siklus – siklus yang umum digunakan pada pengoperasian PLTU.

- Siklus Air Pengisi / Air Umpan
- Siklus Bahan Bakar
- Siklus Udara Pembakaran dan Gas Buang
- Siklus Air Pendingin
- Siklus Pelumasan

2.2 Sistem Air Pendingin PLTU

Pengoperasian sistem PLTU sangat erat kaitannya dengan *heat* / panas, Banyak komponen yang secara langsung menerima panas. Walau pabrikan telah membuat alat tersebut untuk memiliki umur pakai yang tahan lama dan material yang tahan terhadap pengaruh dari luar seperti suhu ekstrem, alat – alat tersebut lama kelamaan akan rapuh. *Cooling water system* adalah proses penyaluran air

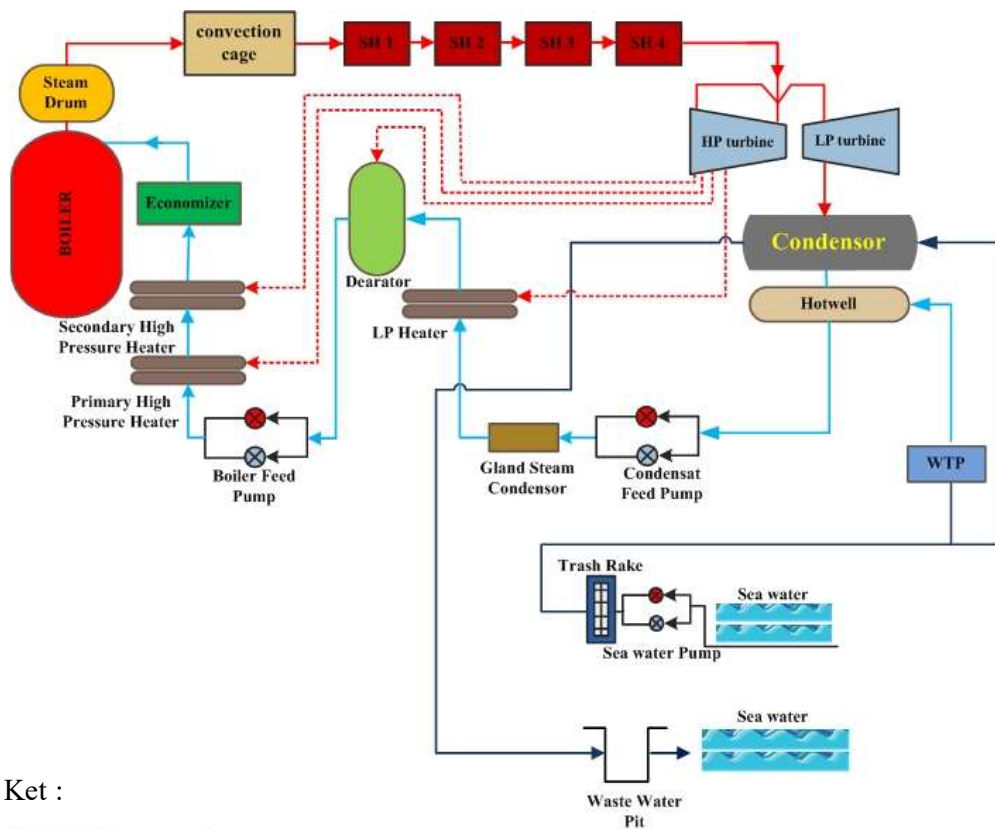
pendingin untuk mendinginkan peralatan – peralatan yang membutuhkan pendinginan untuk menunjang kerja (Iqbal, 2013).

Tugas utama air pendingin ini hanyalah mengambil kalor dari kondensor sehingga air pendingin ini tadi mengalami kenaikan suhu. Jadi PLTU mempunyai produk sampingan berupa air panas yang suhunya lebih tinggi dari pada suhu air sebelum dipakai untuk pendingin. PLTU umumnya menggunakan sistem pendinginan dengan klasifikasi sistem sekali lalu, yang mana pada sistem ini air limbah dari pembangkitan yang digunakan pada proses pendinginan akan dibuang kembali ke sumbernya. Sehingga Air pendingin yang bersuhu relatif tinggi, bervolume besar, dan secara berkesinambungan dibuang kembali ke perairan setempat. Pada umumnya ada tiga macam cara pembuangan kalor yang digunakan pada sistem sekali lalu yaitu :

- a. *Pembuangan permukaan*, dimana air bekas sirkulasi pendinginan kondensor dibuang dalam lapisan yang relatif tipis ke permukaan air laut. Pada sistem ini biasanya menggunakan jalur terbuka (*open channel*) yang dibuat panjang untuk menyalurkan air bekas sirkulasi pendinginan kondensor ke laut sehingga air akan mengalami penurunan temperatur karena penguapan ke atmosfer sebelum bercampur dengan air laut.
- b. *Pembuangan bawah permukaan*, dimana air dibuang dalam bentuk jet di bawah permukaan air laut. Semburan air dalam bentuk jet itu bercampur dengan air yang lebih dingin, dan kalornya akhirnya dilepas melalui penguapan dari percampuran dengan air laut yang temperaturnya lebih rendah.

c. *Pembuangan difusi*, dimana air itu dilepaskan melalui sejumlah nozel dari suatu pipa panjang dibawah permukaan air yang mengalir. Biasanya sistem ini dipakai pada PLTU yang memakai air sungai sebagai sumber air pendingin kondensor untuk proses kondensasi.

Untuk PT ANTAM Tbk menggunakan pembuangan kalor jenis permukaan, seperti yang terlihat pada skema di bawah ini:



Ket :

- = Aliran uap
- - - = Aliran ekstraksi uap
- = Aliran air demin
- = Aliran air laut

Gambar 2.2 Skema PLTU

Dengan adanya pembuangan kalor yang dilakukan oleh suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), otomatis perairan penerima air pendingin itu akan naik suhunya dan lambat laun mempengaruhi lingkungan akuatik di sekitar PLTU tersebut (Martono, 1984). Selain kenaikan temperatur dari air limbah yang akan dibuang ke sumbernya, juga pengaruh pada kandungan dari air limbah itu sendiri. Karena pada PLTU menggunakan senyawa klorin, yang dimana tujuan yang paling mendasar dari penambahan klorin tersebut adalah untuk menciptakan suatu kondisi yang bertentangan dengan kondisi lingkungan hidup organisme laut, sehingga mereka tidak dapat tumbuh dan berkembang (Hasan, 2006).

2.3 Peraturan Lingkungan

Peraturan mengenai air limbah buangan dari suatu pembangkit, khususnya untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) terdapat dua parameter yang harus diperhatikan yaitu kenaikan suhu / temperatur dan kandungan klorin dari air limbah suatu pembangkitan. Adapun pasal yang mengatur tentang baku mutu air yaitu pasal 9 point m. yang berbunyi “ *memeriksa kadar parameter baku mutu air limbah sebagaimana tercantum dalam lampiran Peraturan Menteri ini secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 1 (satu) bulan dan setiap 1 (satu) kali dalam 3 (tiga) bulan dilakukan di laboratorium yang terakreditasi.*” Berikut ketentuan untuk baku mutu air limbah pada sistem pendingin yang sesuai dengan pasal di atas :

Tabel 2.1 Ketentuan untuk baku mutu air limbah pada sistem pendingin

No	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
1	Temperatur	°C	40*
2	Klorin Bebas (Cl ₂)	mg/L	0,5

Sumber: *Operation & Maintenance Manual Cooling Water System* PT ANTAM Tbk., 2016.

2.3.1 Kenaikan Suhu

Menurut Hukum Van't Hoff, kenaikan suhu 10°C akan menaikkan kecepatan reaksi kimia dua kali lipat. Walaupun hukum ini tidak dapat diterapkan begitu saja, namun dapat diperkirakan bahwa perubahan suhu lingkungan hidup dapat mempengaruhi proses-proses hayati di dalam organisme karena proses-proses tersebut bersifat kimiawi. Suhu juga merupakan faktor pembatas terhadap sebaran biota dan mempengaruhi viskositas air. Viskositas air menurun dengan meningkatnya suhu. Mengingat hal-hal tersebut di atas, suhu merupakan faktor ekologi yang penting. Suatu keuntungan dalam lingkungan hidup akuatik ialah tingginya panas jenis air, dimana air lambat menyerap panas dan lambat pula melepaskannya. Akibatnya suhu air laut relatif konstan, jarang terjadi perubahan suhu yang sangat tajam. Panas jenis air yang tinggi memungkinkan dipindahkannya kalor (panas) dalam jumlah besar lewat gerakan-gerakan massa air tanpa atau sedikit menaikkan suhu air. Kenyataan di alam menunjukkan bahwa kisaran suhu yang dapat ditoleransi oleh berbagai biota bahari berbeda-beda. Organisme yang dapat mentoleransi kisaran suhu yang besar dikatakan bersifat *euritermal*, sedangkan yang hanya dapat mentoleransi kisaran suhu yang sempit disebut *stenoterma* (Hutomo, 1992). Biota adalah sebuah sistem hayati yang

heterogen, artinya proses-proses hidup pada biota bersifat kimiawi dan fisik. Telah umum diketahui bahwa resistensi reaksi kimia terhadap suhu menurun dengan meningkatnya suhu. Kenaikan suhu akan mempercepat reaksi-reaksi kimia. Tetapi kecepatan reaksi kimia di dalam tubuh biota juga dipengaruhi oleh faktor fisik misalnya difusi. Karenanya, pada kenaikan suhu yang sama, percepatan proses-proses hidup tidak perlu sama dengan percepatan reaksi-reaksi kimia dalam tabung. Jadi hukum Van't Hoff yang menyatakan bahwa naiknya suhu dengan 10°C akan mempercepat proses-proses fatal dua kali lipat.

2.3.2 Kandungan Klorin

Limbah yang mengandung klorin dapat mencemari lingkungan apabila tidak dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Sifat klorin yang sangat reaktif akan sangat mudah bagi klorin bereaksi dengan senyawa lain dan membentuk senyawa – senyawa baru seperti senyawa organoklorin yang merupakan senyawa toksik dan dapat menimbulkan efek karsinogen bagi manusia. Senyawa organoklorin merupakan senyawa senyawa kimia dimana klorin terikat kuat pada karbon. Organoklorin merupakan kelompok terbesar dari senyawa kimia organik yang berbasis karbon yang mengandung satu atau lebih atom klorin (Hasan, 2006).

Klorin selain berdampak pada kesehatan, juga berdampak pada lingkungan, baik itu udara, air dan komunitas makhluk hidup yang ada di lingkungan yang terkena dampak tersebut. Besarnya dampak yang ditimbulkan oleh senyawa klorin sangat tergantung dari kadar, jenis senyawa klorin dan yang terpenting adalah tingkat toksisitas dari senyawa tersebut. pembuangan limbah yang mengandung

klorin ke perairan, berpotensi mencemari perairan dan ekosistem yang ada di perairan. Selain itu senyawa klorin juga dapat menyebabkan masalah lingkungan yang bersifat global seperti kerusakan lapisan ozon dan bahkan terjadinya hujan asam (Hasan, 2006).

2.4 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahannya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut (Incropera dan DeWitt, 2005). Salah satu proses perpindahan kalor yang digunakan pada pengujian ini yaitu proses perpindahan kalor secara konveksi. Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel – partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel – partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel – partikel fluida tersebut. kedua, partikel – partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah. Dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel – partikel

fluida lainnya. Adapun contoh perpindahan kalor secara konveksi pada saluran terbuka yaitu pada *waste water pit* PLTU ANTAM Tbk.



Gambar 2.3 *Waste water pit* PLTU ANTAM Tbk.

Pada sistem ini menggunakan jalur terbuka (*open channel*) yang dibuat panjang untuk menyalurkan air bekas sirkulasi pendinginan kondensor ke laut sehingga air akan mengalami penurunan temperatur karena penguapan ke atmosfer sebelum bercampur dengan air laut. Dari segi termodinamika, pendinginan sekali lalu merupakan cara yang paling efisien untuk pembuangan kalor. Akan tetapi, ada peraturan lingkungan yang membatasi penggunaan sumber air (seperti sungai dan laut) atau membatasi temperatur pemanasan air oleh air buangan dari suatu sistem. Oleh karena itu pada proses pembuangan kalor disediakan *waste water pit* yang memiliki panjang sekitar 200 m.

Umumnya perpindahan kalor secara konveksi dikelompokkan menurut gerak alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*), apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi

bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Laju perpindahan kalor suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan :

$$q_c = \bar{h}_c A \Delta T \dots\dots\dots (2-1)$$

Holman J.P, 1994 hal:11

- Dimana
- q_c = Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)
 - \bar{h}_c = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².K)
 - A = Luas perpindahan kalor (m²)
 - ΔT = Beda antara suhu permukaan T_w dan suhu fluida T_∞ (°C)

2.4.1 Panjang Masuk *Thermal* dan Hidrodinamik

Panjang masuk hidrodinamik adalah panjang yang diperlukan saluran masuk untuk mencapai kecepatan maksimum dari besaran aliran berkembang penuh. Sedang panjang kalor *thermal* adalah panjang yang dibutuhkan dari awal daerah perpindahan kalor untuk mencapai angka *Nusselt local* (Nu) (Koestoer, 2002). Jika perpindahan kalor ke fluida dimulai setelah fluida memasuki saluran, lapisan batas kalor dan kecepatan mulai berkembang dengan cepat, maka keduanya diukur dari depan saluran.

2.4.2 Aliran Berkembang Penuh

Apabila fluida memasuki tabung dengan kecepatan seragam, fluida akan melakukan kontak dengan permukaan sehingga viskositas menjadi penting dan lapisan batas akan berkembang. Perkembangan ini terjadi bersamaan dengan menyusunnya daerah aliran *invisid* diakhiri dengan bergabungnya lapisan batas

pada garis pusat. Jika lapisan – lapisan batas tersebut telah memenuhi seluruh permukaan, maka dikatakan aliran berkembang penuh (*fully developed*).

Bilangan *Reynolds* untuk aliran saluran terbuka dapat didefinisikan dengan :

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \dots\dots\dots (2-2)$$

- Dimana ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
 v = kecepatan aliran (m/s)
 D_h = diameter hidrolik (m)
 μ = viskositas dinamik (kg/m.s)

Banyak saluran yang dibuat untuk memudahkan fluida berpenampang tidak bundar. Detail aliran pada saluran berpenampang persegi tergantung pada bentuk penampang yang sebenarnya dan banyak hasil dari pipa bundar dapat diterapkan pada aliran di dalam saluran dengan bentuk-bentuk yang lain. Adapun persamaan diameter hidraulik untuk penampang yang tidak bundar ialah sebagai berikut:

$$D_h = P + (2 \times b) \dots\dots\dots (2-3)$$

- Dimana D_h = Diameter hidrolik (m)
 P = panjang saluran (m)
 b = kedalaman air (m)

(Hussain, 2015)

Sedangkan bilangan *Prandtl* merupakan perbandingan antara ketebalan lapis batas kecepatan dengan ketebalan lapis batas termal, yang dituliskan dengan persamaan di bawah ini :

$$Pr = \frac{\vartheta C_p}{K} \dots\dots\dots (2-4)$$

- Dimana ϑ = Viskositas kinematik (m²/s)

Cp = Kalor spesifik fluida pada tekanan tetap (KJ/kg.K)

K = Konduktivitas thermal (W/m.K)

Mahatma, 2013

Untuk memperoleh viskositas kinematik digunakan persamaan :

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2-5)$$

Dimana ϑ = Viskositas kinematik (m²/s)

μ = Viskositas dinamik (kg/m.s)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

Sehingga diperoleh bilangan *Nusselt* untuk aliran yang sudah jadi atau berkembang penuh (*fully developed turbulent flow*) dapat dituliskan dengan persamaan :

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana n = 0,3. Untuk pendinginan

n = 0,4. Untuk pemanasan

Re = adalah bilangan *Reynolds*

Pr = adalah bilangan Prandtl

Holman J.P, 1994 hal: 252

Setelah diketahui besar bilangan *nusselt*, maka koefisien perpindahan kalor secara konveksi dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\bar{h}_c = \frac{NuK}{D_h} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana *Nu* = bilangan *Nusslet*

K = konduktivitas thermal (W/m.K)

D_h = Diameter hidrolik (m)

Holman J.P, 1994

2.5 Metode Untuk Meningkatkan Efektivitas

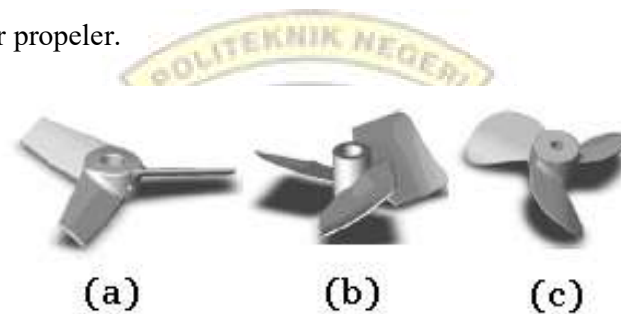
Salah satu metode yang bisa digunakan untuk proses penurunan temperatur yaitu pengadukan (*agitation*), pengadukan adalah pemberian gerakan tertentu sehingga menimbulkan reduksi gerakan yang mempunyai pola sirkulasi. Akibat yang ditimbulkan dari operasi pengadukan adalah terjadinya pencampuran (*mixing*) dari satu atau lebih komponen yang teraduk. Pengadukan juga dimaksudkan untuk menyebarkan panas dari reaksi yang dipindahkan melalui cooling coil dan jaket (Buku Petunjuk Praktikum Satuan Operasi, 2004). Adapun jenis – jenis *agitator* yang umum digunakan yaitu *agitator* baling – baling, *agitator* dayung, *agitator* turbin dan *agitator Helical-Ribbon* (Buku petunjuk praktikum satuan operasi, 2004).

2.5.1 *Agitator* Baling – Baling (*Propeller*)

Propeler merupakan *agitator/impeller* aliran aksial berkecepatan tinggi untuk zat cair berviskositas rendah. Propeler kecil biasanya berputar pada kecepatan motor penuh, yaitu 1150 atau 1750 putaran/menit, sedang propeler besar berputar pada 400-800 putaran/menit. Arus yang meninggalkan propeler mengalir melalui zat cair menurut arah tertentu sampai dibelokkan oleh rantai atau dinding bejana.

Jenis yang paling banyak dipakai adalah propeler kapal berdaun tiga, sedang propeler berdaun empat, bergigi, atau dengan rancang lain digunakan untuk tujuan-tujuan khusus. Selain itu, kadang dua atau lebih propeler dipasang pada satu poros, biasanya dengan arah putaran yang sama. Namun, bisa juga dipasang dengan arah yang berlawanan, atau secara tolak/tarik sehingga menciptakan *zone fluida* yang sangat turbulen di antara kedua propeler tersebut.

Pengaduk ini tidak bergantung pada ukuran serta bentuk tangki. Kapasitas sirkulasi yang dihasilkan besar dan sensitif terhadap beban head. Dalam perancangan *propeller*, luas sudu biasa dinyatakan dalam perbandingan luas area yang terbentuk dengan luas daerah disk. Nilai nisbah ini berada pada rentang 0,45 sampai dengan 0,55. Pengaduk propeler terutama menimbulkan aliran arah aksial, arus aliran meninggalkan pengaduk secara kontinu melewati fluida ke satu arah tertentu sampai dibelokkan oleh dinding atau dasar tangki. Berikut adalah gambar contoh agitator propeler.



Gambar 2.4 *Agitator* baling – baling (a) Daun dipertajam, (b) baling – baling kapal, (c) baling – baling daun
 Sumber: Buku Petunjuk Satuan Operasi Politeknik Negeri Bandung, 2004.

2.5.2 *Agitator* Dayung (*Paddle*)

Berbagai jenis pengaduk dayung biasanya digunakan pada kecepatan rendah diantaranya 20 hingga 200 rpm. Dayung datar berdaun dua atau empat biasa digunakan dalam sebuah proses pengadukan. Panjang total dari pengadukan dayung biasanya 60 – 80 % dari diameter tangki dan lebar dari daunnya $1/6 - 1/10$ dari panjangnya.



Gambar 2.5 *Agitator* dayung (*Paddle*) berdaun dua
Sumber: Buku Petunjuk Satuan Operasi Politeknik Negeri Bandung, 2004

Agitator dayung menjadi tidak efektif untuk suspensi padatan, karena aliran radial bisa terbentuk namun aliran aksial dan vertikal menjadi kecil. Sebuah dayung jangkar atau pagar, yang terlihat pada Gambar 2.4 biasa digunakan dalam pengadukan. Jenis ini menyapu dan mengeruk dinding tangki dan kadang – kadang bagian bawah tangki. Jenis ini digunakan pada cairan kental dimana endapan pada dinding dapat terbentuk dan juga digunakan untuk meningkatkan transfer panas ke dinding tangki. Bagaimanapun jenis ini adalah pecampuran yang buruk. Pengaduk dayung sering digunakan untuk proses pembuatan pasta kanji, cat, bahan perekat dan kosmetik.

2.5.3 *Agitator* Turbin

Istilah turbin ini diberikan bagi berbagai macam jenis pengaduk tanpa memandang rancangan, arah *discharge* ataupun karakteristik aliran. Turbin merupakan pengaduk dengan sudu tegak datar dan bersudut konstan. Pengaduk jenis ini digunakan pada viskositas fluida rendah seperti halnya pengaduk jenis propeler. Pengaduk turbin menimbulkan aliran arah radial dan tengensial. Di

sekitar turbin terjadi daerah turbulensi yang kuat, arus dan geseran yang kuat antar fluida.

Salah satu jenis pengaduk turbin adalah *pitched blade*. Pengaduk jenis ini memiliki sudut sudu konstan. Aliran terjadi pada arah aksial, meski demikian terdapat pula aliran pada arah radial. Aliran ini akan mendominasi jika sudu berada dekat dengan dasar tangki.

Pada dasarnya, turbin menyerupai dayung berdaun banyak dengan daun-daunnya yang agak pendek, dan berputar pada kecepatan tinggi pada suatu poros yang di pasang di pusat bejana. Daun-daunnya bisa lurus atau lengkung, bisa bersudut atau vertikal. Diameter impelernya biasa lebih kecil dari diameter dayung, yaitu berkisar antara 30-50% dari diameter bejana. Turbin biasanya efektif untuk menjangkau viskositas yang cukup luas. Di dekat impeler akan terdapat zona arus deras yang sangat turbulen dengan geseran yang kuat. Arus utamanya bersifat radial dan tangensial. Komponen tangensialnya menimbulkan *vortex* (cekungan) dan arus putar, yang harus dihentikan dengan menggunakan sekat atau *diffuser* agar impeler itu menjadi sangat efektif.



Gambar 2.6 *Agitator* turbin dengan berbagai variasi

Sumber : Buku *Petunjuk Satuan Operasi Politeknik Negeri Bandung, 2004*

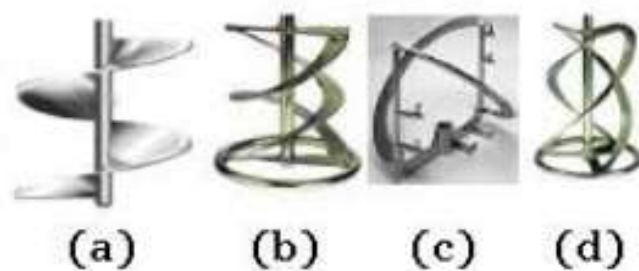
Turbin biasanya memiliki empat atau enam daun pengaduk. Turbin dengan daun yang datar memberikan aliran yang radial. Jenis ini juga berguna untuk

dispersi gas yang baik, gas akan dialirkan dari bagian bawah pengaduk dan akan menuju ke bagian daun pengaduk lalu tepotong-potong menjadi gelembung gas.

Pada turbin dengan daun yang dibuat miring sebesar 45° , seperti yang terlihat pada Gambar 2.6, beberapa aliran aksial akan terbentuk sehingga sebuah kombinasi dari aliran aksial dan radial akan terbentuk. Jenis ini berguna dalam suspensi padatan karena aliran langsung ke bawah dan akan menyapu padatan ke atas. Terkadang sebuah turbin dengan hanya empat daun miring digunakan dalam suspensi padat. Pengaduk dengan aliran aksial menghasilkan pergerakan fluida yang lebih besar dan pencampuran per satuan daya dan sangat berguna dalam suspensi padatan.

2.5.4 Agitator Helical-Ribbon

Jenis pengaduk ini digunakan pada larutan pada kekentalan yang tinggi dan beroperasi pada rpm yang rendah pada bagian laminar. *Ribbon* (bentuk seperti pita) dibentuk dalam sebuah bagian *helical* (bentuknya seperti baling-baling helikopter dan ditempelkan ke pusat sumbu pengaduk). Cairan bergerak dalam sebuah bagian aliran berliku-liku pada bagian bawah dan naik ke bagian atas pengaduk.



Gambar 2.7 Agitator jenis (a), (b) & (c) *Helical-Ribbon*, (d) *Semi-Spiral*

Sumber: Buku Petunjuk Satuan Operasi Politeknik Negeri Bandung, 2004

Namun metode dengan menggunakan *agitator* masih membutuhkan suplai listrik untuk mengoperasikan motor listrik dari proses *agitation*. Sehingga belum efisien, oleh karena itu metode yang kami gunakan yaitu berupa penggunaan roda air. Selain dapat menghasilkan listrik yang bisa digunakan untuk penerangan area sekitar pembangkit, juga dapat digunakan untuk proses penurunan temperatur air limbah yang dihasilkan pembangkit.

2.6 Turbin Roda Air *Undershoot*

Kincir air atau roda air untuk irigasi adalah sebuah alat yang dipasang pada pinggir sungai yang berbentuk roda yang digunakan untuk menaikkan air dari sungai ke areal yang akan dialiri disekitarnya. Kincir air ini dalam kerjanya memanfaatkan air permukaan. Air permukaan dibentuk sedemikian rupa sehingga bisa menggerakkan kincir tersebut (Dewi, 2011). Kincir air atau roda air tipe *undershoot* bekerja saat air yang mengalir, menghantam sudu-sudu yang terletak pada bagian bawah dari kincir. Adapun keuntungan dari roda air ini yaitu konstruksinya yang sederhana dan ekonomis serta mudah untuk dipindahkan (Rakasiwi, dkk, 2016).

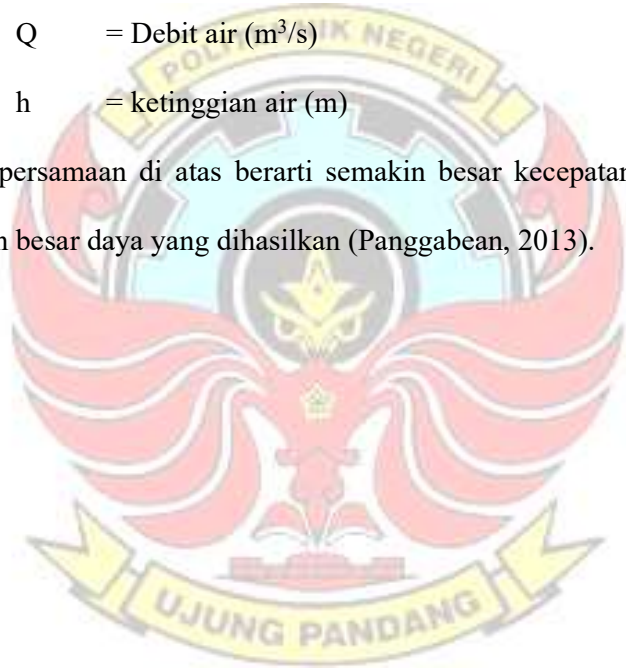
Pada dasarnya prinsip kerja kincir air modifikasi maupun tradisional bergantung dari waktu yang dibutuhkan untuk proses pengisian tabung air pada saat berada di bagian bawah. Waktu yang dibutuhkan saat pengisian tabung air ini dipengaruhi oleh kecepatan rotasi kincir. Kecepatan rotasi kincir sangat bergantung dari desain sudu-sudu diantaranya luasan, jumlah dan bahan yang digunakan. Hal ini sejalan dengan apa yang dirumuskan oleh Irzal et al, (1989)

bahwa daya air yang dapat menggerakkan air ditentukan oleh berat jenis air, luas penampang sudu-sudu kincir, kecepatan air sungai dan gaya gravitasi (Panggabean, 2013). Yang dituliskan dalam persamaan :

$$P = \rho \times g \times Q \times h \dots\dots\dots(2-8)$$

- Dimana
- P = Daya air yang menggerakkan roda air (Watt)
 - ρ = massa jenis fluida (kg/m³)
 - g = Gaya gravitasi (m/s²)
 - Q = Debit air (m³/s)
 - h = ketinggian air (m)

Berdasarkan persamaan di atas berarti semakin besar kecepatan kincir berputar maka semakin besar daya yang dihasilkan (Panggabean, 2013).



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini sudah dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama 6 bulan, dimulai bulan Februari sampai dengan bulan Juli 2019. Pelaksanaan kegiatan diawali dengan perancangan *waste water pit*, pembuatan dan pengujian, serta evaluasi dan penyempurnaan pengaplikasian roda air, selanjutnya dilakukan pengambilan data.

3.2 Alat dan Bahan

Objek yang dilakukan pengujian Analisis Unjuk Kerja Turbin Roda Air yang Berfungsi Ganda Sebagai Pembangkit Daya dan *Agitator* yaitu simulasi alat pengujian saluran terbuka yang terdapat pada Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang. Alat ukur yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah *flowmeter*, thermometer raksa serta semua alat ukur berupa sensor yang terpasang pada alat pengujian. Bahan yang digunakan dalam pengujian ini yaitu air yang telah dipanaskan hingga mencapai temperatur 50 °C.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada pengujian ini yaitu sebagai berikut :

1. Perumusan ide-ide topik penelitian dan mengidentifikasi permasalahan.

Pada tahap pertama, dilakukan pencarian tema-tema yang menarik untuk

diangkat, baik dari pencarian situs-situs internet, jurnal, buku, maupun studi kasus lapangan.

2. Studi pustaka dan studi lapangan. Pada tahap ini dilakukan studi literatur dan studi lapangan mengenai teori-teori yang menjadi dasar dalam penelitian.
3. Melakukan perumusan masalah. Berdasarkan identifikasi masalah dan studi literatur teori, dapat dirumuskan masalah untuk penelitian ini, yaitu besar penurunan temperatur pada pendinginan limbah air di *waste water pit* PLTU jika menggunakan turbin roda air serta unjuk kerja dari turbin itu sendiri.
4. Penentuan tujuan penelitian. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar penurunan temperatur pada pendinginan limbah air di *waste water pit* PLTU jika menggunakan turbin roda air serta unjuk kerja dari turbin itu sendiri.
5. Dilakukan pengumpulan data. Dengan menggunakan saluran terbuka (*Open Channel*) yang memiliki dimensi sebagai berikut:
 - Kedalaman saluran : 25 cm
 - Lebar saluran : 20 cm
 - Panjang : 2 x 24,6 cm
 - Tinggi dari permukaan : 1,3 m + 25 cm
 - Tebal fiber : 1 cm
 - Dimensi kaki segitiga : 4 x 8 cm

Selain itu pemodelan pada benda uji yang digunakan untuk turbin roda air yaitu:

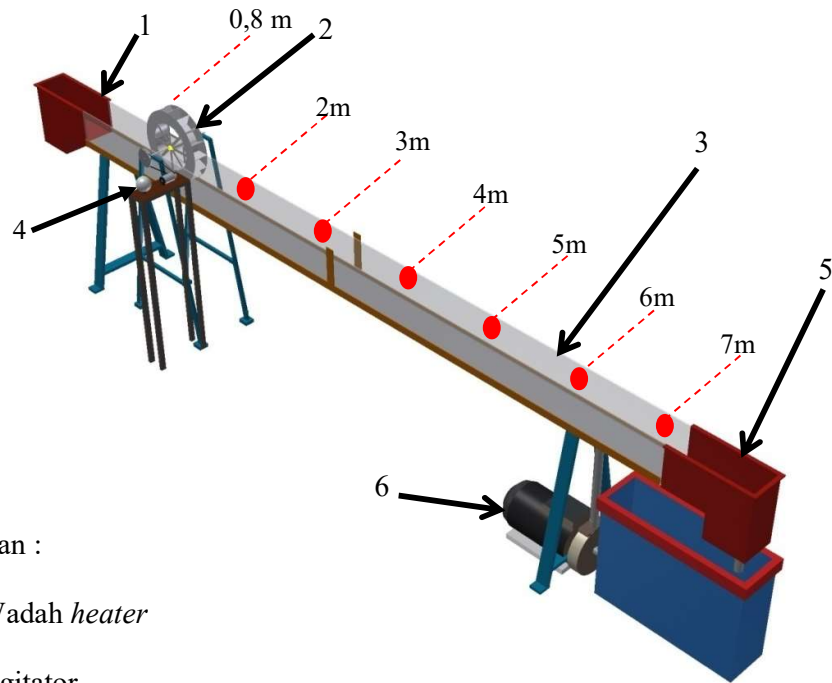
- Diameter luar : 50 cm
- Diameter dalam : 32 cm
- Lebar : 10 cm
- Lebar sudu : 9 cm
- Panjang sudu : 10 cm
- Jumlah sudu : 16 buah

Jasa, Priyadi dkk, 2015.

Penempatan roda air pada saluran waste water pit yaitu 80 cm dari wadah heater, adapun data atau informasi yang dibutuhkan pada skema pegujian yang terdapat di bawah ini

- Temperatur fluida setelah melewati roda air
- Luas penampang
- Kecepatan aliran
- Diameter hidrolis
- Viskositas dinamik
- Viskositas kinematik

Selanjutnya dilakukan pengambilan data-data di atas dengan variasi pengujian, selain itu data di atas dibutuhkan untuk mengetahui jenis aliran, laju perpindahan kalor secara konveksi serta digunakan untuk mengetahui besar daya yang dihasilkan dari pembangkitan roda air.



Keterangan :

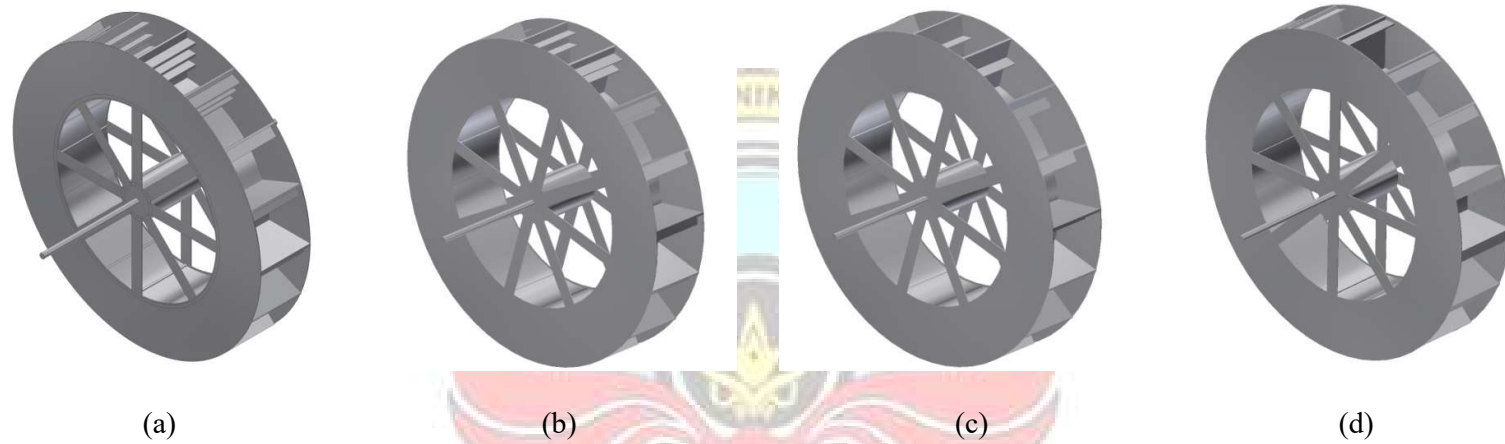
1. Wadah *heater*
2. Agitator
3. Saluran terbuka
4. Generator
5. *Reservoir*
6. Pompa

Gambar 3.1 Skema pengujian

Setelah itu dilakukan pengujian yang terdiri dari:

1. Pengujian tanpa menggunakan roda air
2. Pengujian menggunakan roda air
 - Tiga sirip
 - Dua sirip
 - Satu sirip

Adapun desain turbin roda air yang kami lakukan pada pengujian ini yaitu



Gambar 3.2 Desain turbin roda air dengan variasi sirip (a) tiga sirip, (b) dua sirip, (c) satu sirip di bagian tengah, dan (d) satu sirip di bagian pinggir

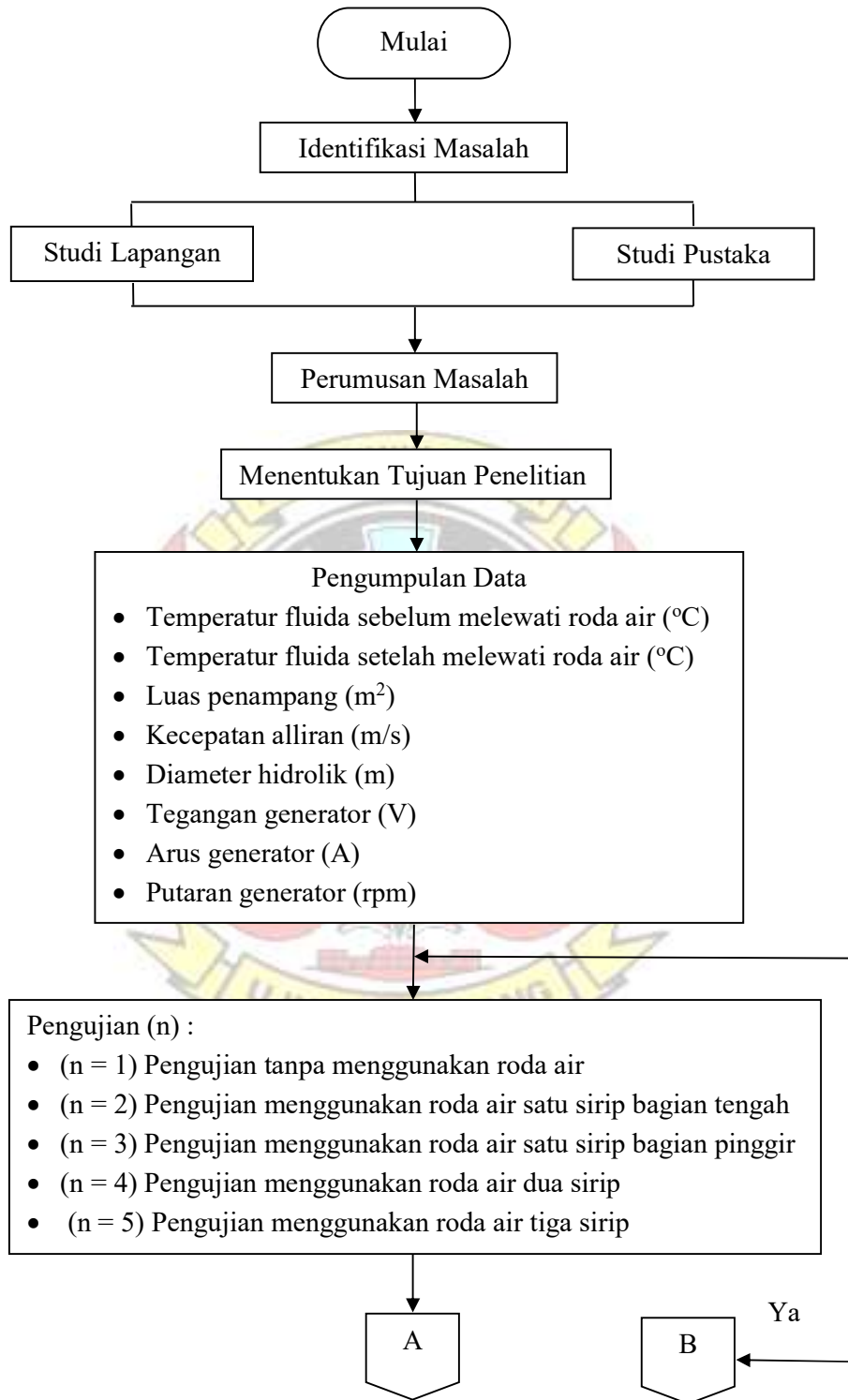


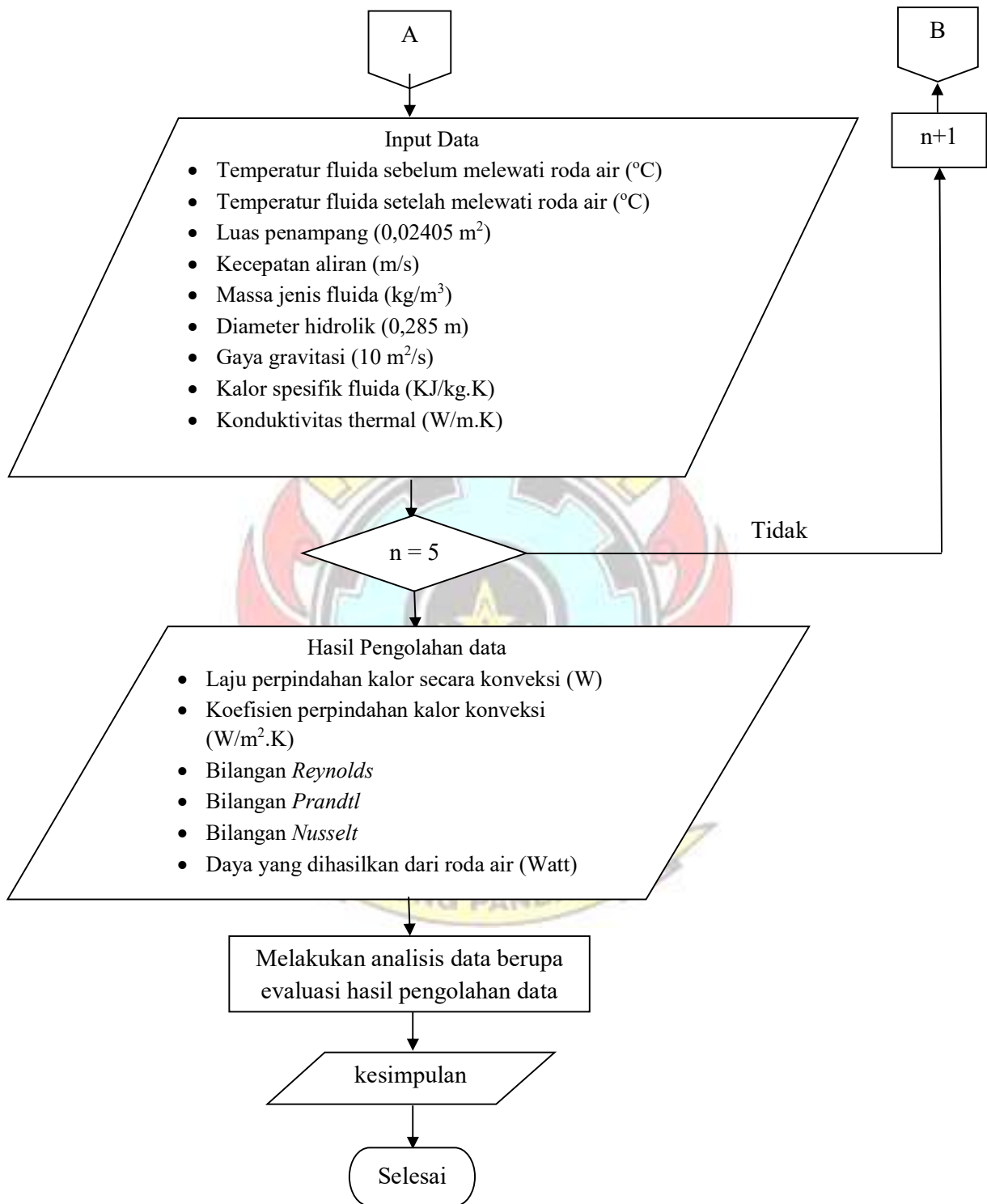
3.4 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk menentukan laju perpindahan kalor secara konveksi, bilangan *reynolds*, bilangan nusselt dan daya yang dihasilkan oleh turbin roda air. Adapun tahapan yang digunakan pada teknik analisis data yaitu sebagai berikut :

1. Menginput data yang diperoleh dari hasil pengujian berupa :
 - Temperatur fluida setelah melewati roda air ($^{\circ}\text{C}$)
 - Luas penampang (m^2)
 - Kecepatan aliran (m/s)
 - Massa jenis fluida (kg/m^3)
 - Diameter hidrolis (m)
2. Mengolah data yang telah diinput sebelumnya agar diperoleh data
 - Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)
 - Bilangan *Reynolds*
 - Bilangan *Prandtl*
 - Bilangan *Nusselt*
3. Melakukan analisis data berupa evaluasi dari hasil perhitungan yang telah diperoleh.
4. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis data.

Diagram alir dari penelitian yang dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 3.2





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data Hasil Penelitian

4.1.1 Pengujian tanpa Menggunakan Turbin Roda Air

Dengan mengambil data pengamatan pada pengujian tanpa menggunakan roda air dengan menggunakan variasi jarak, yaitu data No 1 pada Lampiran 1 sebagai acuan analisa.

Diketahui :

$$Q = 60 \text{ lt/menit} = 0,001 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 0,042 \text{ m/s}$$

$$P = 0,185 \text{ m}$$

$$L = 0,13 \text{ m}$$

$$b = 0,05 \text{ m}$$

$$T_1 = 51 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\bar{T} = 50,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_1 - T_\infty = (51 - 50)^\circ\text{C} = 1^\circ\text{C}$$

Penyelesaian :

1. Diameter hidrolis, D_h

$$D_h = P + (2 \times b)$$

$$= 0,185 + (2 \times 0,05) = 0,285 \text{ m}$$

2. Bilangan *Reynolds* untuk aliran saluran terbuka, R_e

$$R_e = \frac{v \cdot D_h}{\nu}$$

Berdasarkan Lampiran 6 Tabel Sifat-sifat Fisik Air, pada $\bar{T} = 50,5\text{ }^\circ\text{C}$ dengan cara interpolasi diperoleh $\vartheta = 0,0000005495\text{ m}^2/\text{s}$

Maka,

$$Re = \frac{v.D_h}{\vartheta}$$

$$= \frac{0,042\text{ m/s} \times 0,285\text{ m}}{0,0000005495\text{ m}^2/\text{s}} = 21565,63$$

3. Bilangan Prandtl, Pr

$$Pr = \frac{\vartheta.C_p}{K}$$

Berdasarkan Lampiran 6 Tabel Sifat-sifat Fisik Air, pada $\bar{T} = 50,5\text{ }^\circ\text{C}$ dengan cara interpolasi diperoleh :

$$C_p = 4,18\text{ kJ/kg.K}$$

$$K = 0,644\text{ W/m.K}$$

Maka,

$$Pr = \frac{\vartheta C_p}{K}$$

$$= \frac{0,0000005495\text{ m}^2/\text{s} \times 4,18\text{ kJ/kg.K}}{0,644\text{ W/m.K}} = 0,000003567$$

4. Bilangan Nusselt, Nu

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

Dimana : $n = 0,3$ untuk pendinginan

Sehingga,

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

$$= 0,023 \times (21565,63)^{0.8} \times (0,000003567)^{0.3} = 1,565$$

5. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi, \bar{h}_c ($W/m^2 \cdot K$)

$$\begin{aligned}\bar{h}_c &= \frac{NuK}{D_h} \\ &= \frac{1,565 \times 0,644 \text{ W/m.K}}{0,285 \text{ m}} = 3,536 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

6. Laju Perpindahan Kalor Konveksi, q_c (W)

$$q_c = \bar{h}_c A \Delta T$$

Dimana:

$$A = P \times L$$

$$= 0,185 \times 0,13 = 0,02405 \text{ m}^2$$

Maka diperoleh:

$$\begin{aligned}q_c &= \bar{h}_c A \Delta T \\ &= 3,536 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \times 0,02405 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,085 \text{ W}\end{aligned}$$

Untuk hasil analisa data yang lain dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.1.2 Pengujian dengan Menggunakan Turbin Roda Air

Dengan mengambil data pengamatan pada pengujian menggunakan turbin roda air dengan menggunakan variasi jarak, yaitu data No 1 pada Lampiran 2 sebagai acuan analisa.

Diketahui :

$$Q = 38 \text{ lt/menit} = 0,00063 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 0,026 \text{ m/s}$$

$$P = 0,185 \text{ m}$$

$$L = 0,13 \text{ m}$$

$$b = 0,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 h &= 0,08 \text{ m} \\
 T_1 &= 50 \text{ }^\circ\text{C} \\
 T_\infty &= 43 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \bar{T} &= 46,5 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \Delta T &= T_1 - T_\infty = (50 - 43)^\circ\text{C} = 7^\circ\text{C} \\
 V &= 1,35 \text{ V} \\
 I &= 0,06 \text{ A} \\
 n &= 60 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Penyelesaian :

1. Diameter hidrolis, D_h

$$\begin{aligned}
 D_h &= P + (2 \times b) \\
 &= 0,185 + (2 \times 0,05) = 0,285 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. Bilangan Reynolds untuk aliran saluran terbuka, R_e

$$R_e = \frac{v \cdot D_h}{\nu}$$

Berdasarkan Lampiran 6 Tabel Sifat-sifat Fisik Air, pada $\bar{T} = 46,5 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan cara interpolasi diperoleh $\nu = 0,0000005876 \text{ m}^2/\text{s}$

Maka,

$$\begin{aligned}
 R_e &= \frac{v \cdot D_h}{\nu} \\
 &= \frac{0,026 \text{ m/s} \times 0,285 \text{ m}}{0,0000005876 \text{ m}^2/\text{s}} = 12772,63
 \end{aligned}$$

3. Bilangan Prandtl, P_r

$$P_r = \frac{\nu \cdot c_p}{K}$$

Berdasarkan Lampiran 6 Tabel Sifat-sifat Fisik Air, pada $\bar{T} = 46,5^\circ\text{C}$ dengan cara interpolasi diperoleh :

$$C_p = 4,18 \text{ kJ/kg.K}$$

$$K = 0,639 \text{ W/m.K}$$

Maka,

$$Pr = \frac{\rho C_p}{K}$$

$$= \frac{0,0000005876 \text{ m}^2/\text{s} \times 4,18 \text{ kJ/kg.K}}{0,639 \text{ W/m.K}} = 0,000003844$$

4. Bilangan Nusselt, N_u

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

Dimana : n = 0,3 untuk pendinginan

Sehingga,

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^n$$

$$= 0,023 \times (12772,63)^{0,8} \times (0,000003844)^{0,3} = 1,05$$

5. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi, \bar{h}_c ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)

$$\bar{h}_c = \frac{NuK}{D_h}$$

$$= \frac{1,05 \times 0,639 \text{ W/m.K}}{0,285 \text{ m}} = 2,36 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

6. Laju Perpindahan Kalor Konveksi, q_c (W)

$$q_c = \bar{h}_c A \Delta T$$

Dimana:

$$A = P \times L$$

$$= 0,185 \times 0,13 = 0,02405 \text{ m}^2$$

Maka diperoleh:

$$q_c = \bar{h}_c A \Delta T$$

$$= 2,36 (W/m^2 \cdot K) \times 0,02405 m^2 \times 7 m = 0,40 W$$

7. Daya Input, $P_{in}(W)$

$$P_{in} = \rho \times g \times Q \times h$$

Berdasarkan Lampiran 6 Tabel Sifat-sifat Fisik Air, pada $\bar{T} = 46,5 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan cara interpolasi diperoleh $\rho = 989,58 \text{ kg/m}^3$.

Maka,

$$P_{in} = \rho \times g \times Q \times h$$

$$= 989,58 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,00063 \text{ m}^3/\text{s} \times 0,08 \text{ m}$$

$$= 0,50 \text{ J/s} = 0,50 \text{ W}$$

8. Daya Output, $P_{out}(W)$

$$P_{out} = V \times I$$

$$= 1,35 \text{ V} \times 0,06 \text{ A} = 0,081 \text{ W}$$

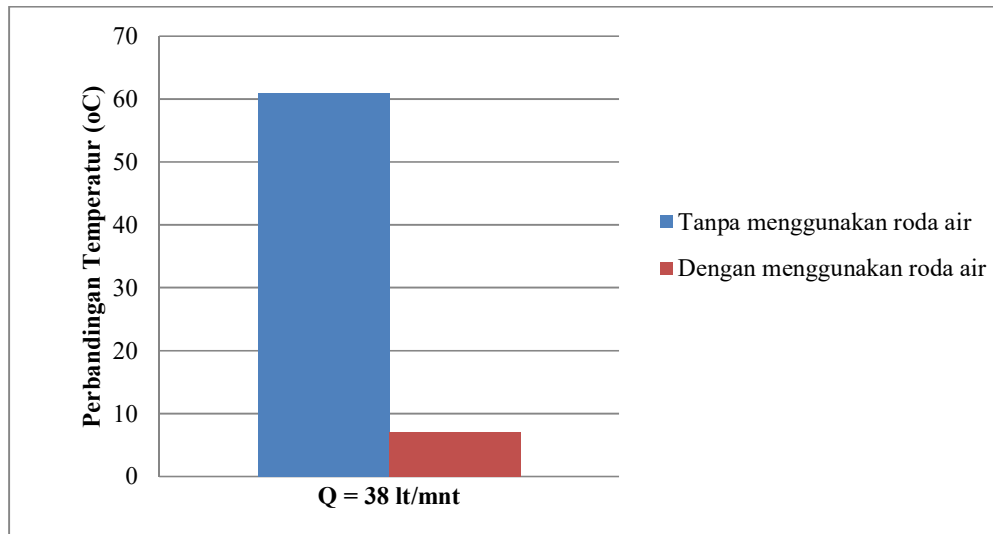
9. Efisiensi Turbin Roda Air, η_T (%)

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

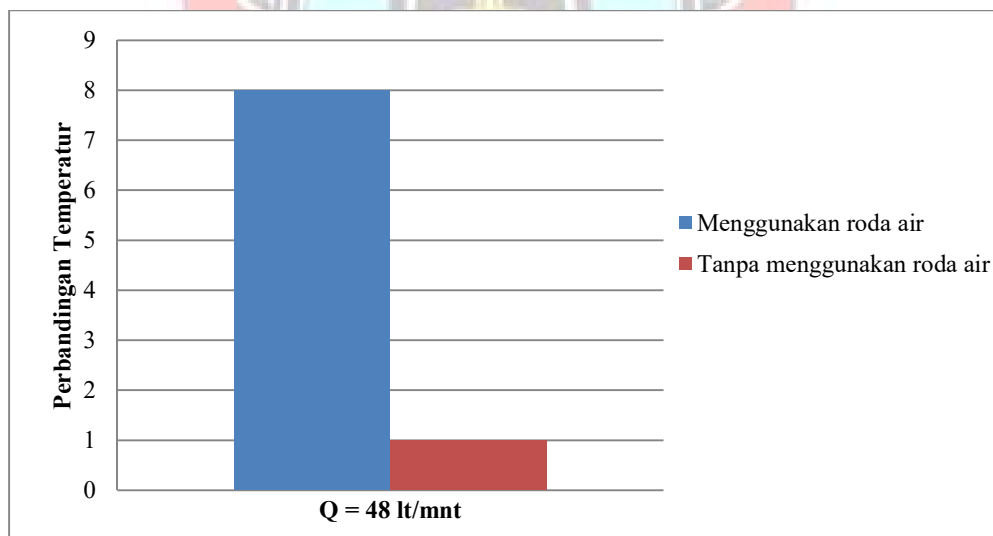
$$= \frac{0,081 \text{ W}}{0,50 \text{ W}} \times 100\% = 16,16\%$$

Untuk hasil analisa data yang lain dapat dilihat pada Lampiran 4.

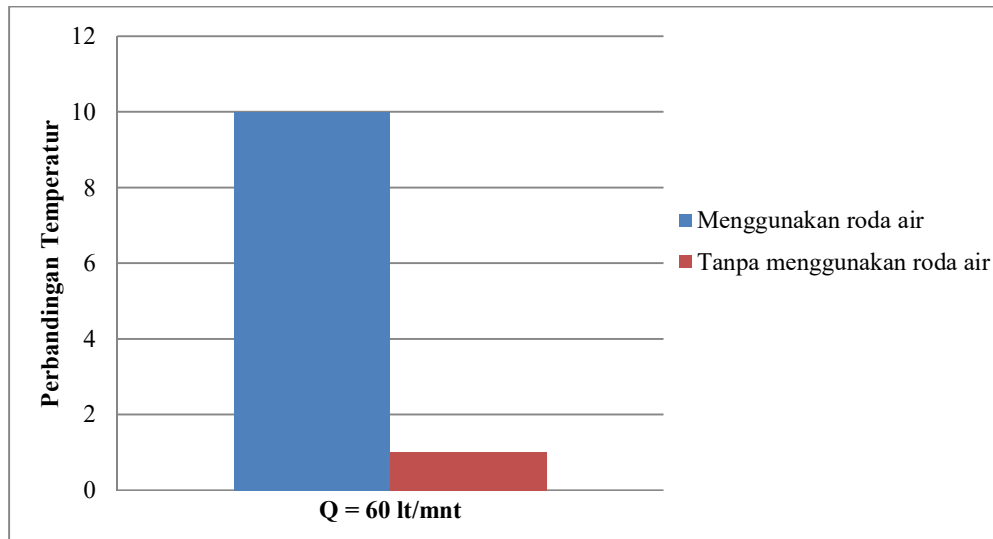
4.2 Grafik dan Pembahasan



Gambar 4.1 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 38$ lt/mnt.

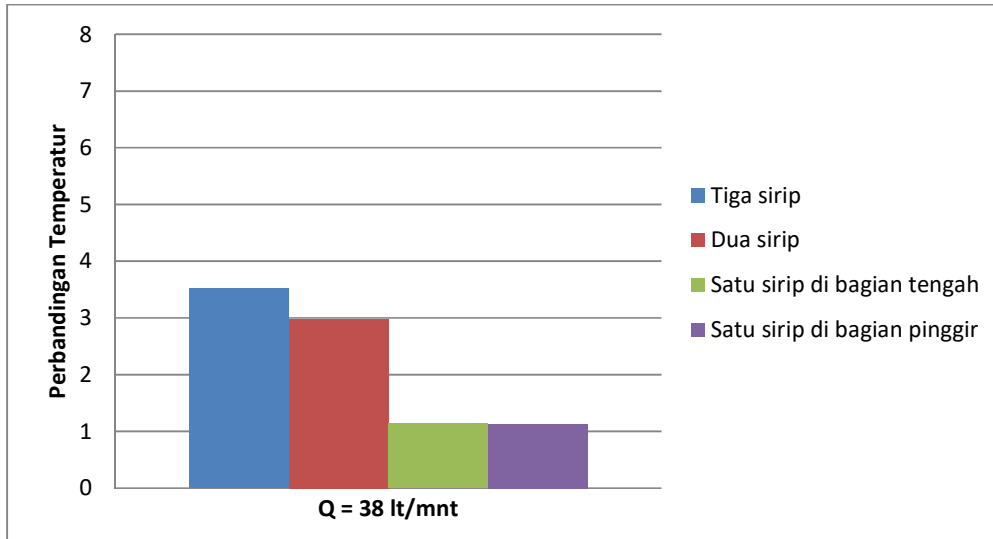


Gambar 4.2 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 48$ lt/mnt.

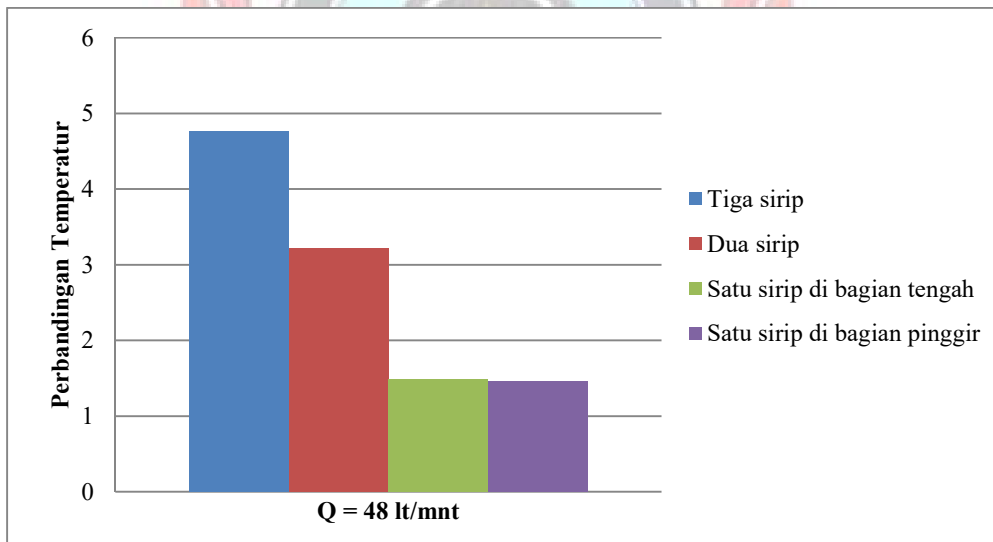


Gambar 4.3 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dan tanpa menggunakan roda air dengan $Q = 60 \text{ lt/mnt}$.

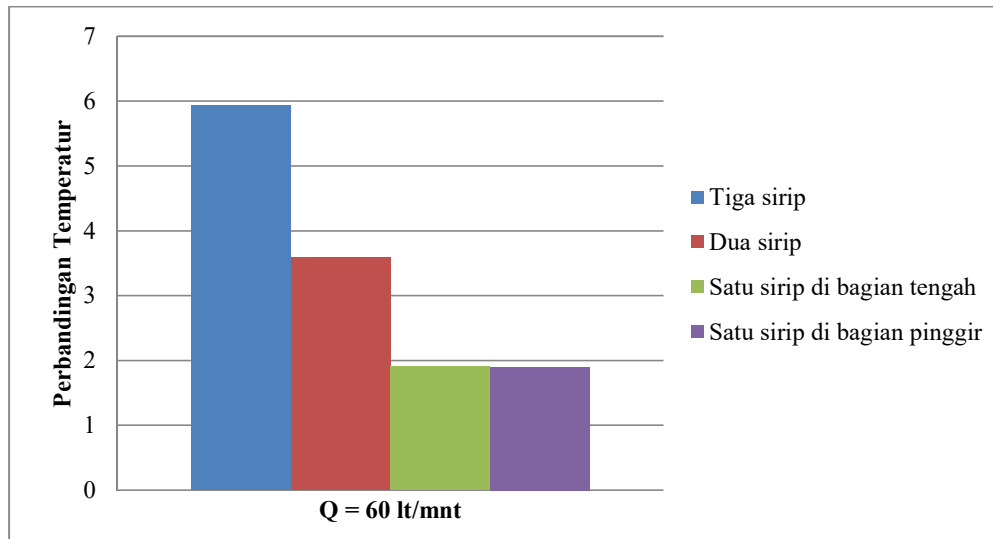
Terlihat pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.3, bahwa nilai temperatur air setelah melewati turbin roda air yang memiliki sirip pada bagian sudunya mengalami penurunan temperatur yang sangat cepat sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan sirip menambah efektivitas penurunan temperatur air. Selain itu dengan memanfaatkan nilai debit yang semakin besar, maka akan semakin membantu air untuk menabrak sudu-sudu turbin yang dilengkapi sirip sehingga semakin mempercepat proses penurunan temperatur. Jadi dapat dikatakan bahwa semakin besar debit air maka semakin membantu proses penurunan temperatur air. Sedangkan tanpa menggunakan roda air akan mengalami penurunan temperatur yaitu maksimal hanya sebesar $1 \text{ }^\circ\text{C}$ meskipun pada keadaan nilai debit yang maksimum maupun sebaliknya. Adapun penurunan temperatur meski tanpa menggunakan roda air disebabkan karena terjadinya proses penguapan air dengan suhu panas ke lingkungan dengan menggunakan sistem *open channel*.



Gambar 4.4 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 38 \text{ lt/mnt}$.

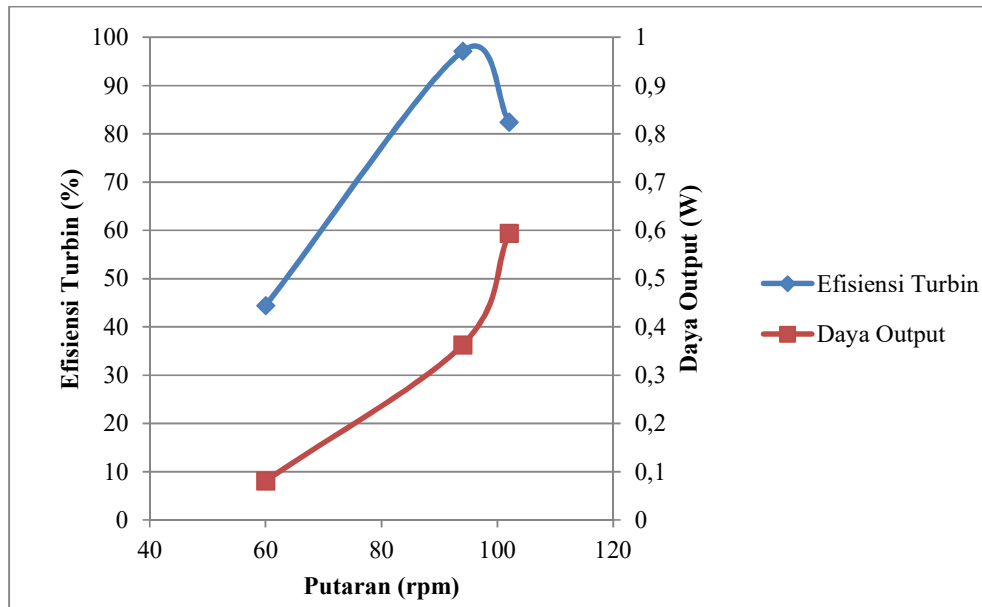


Gambar 4.5 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 48 \text{ lt/mnt}$.



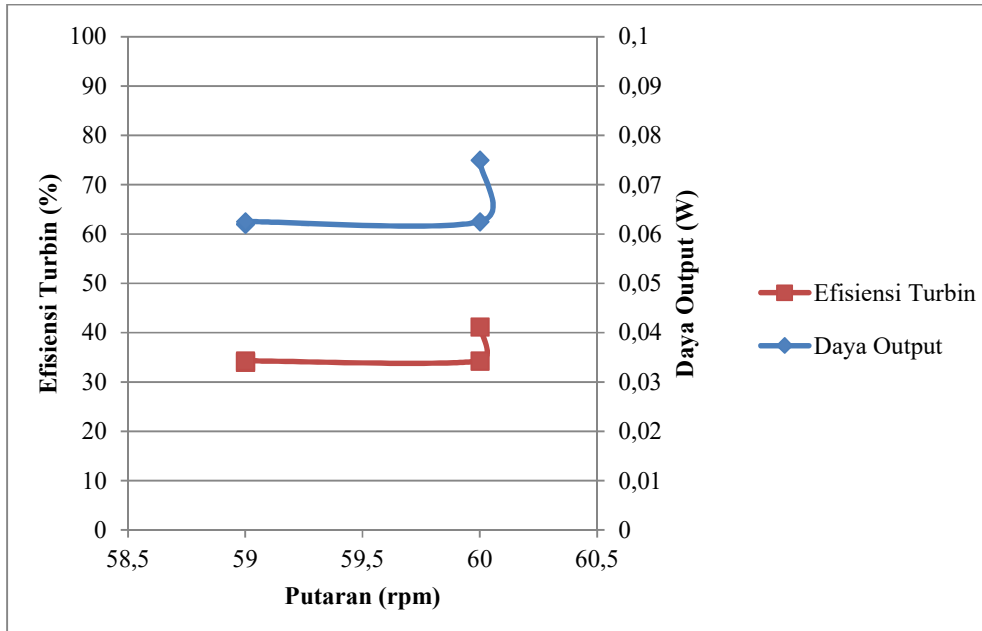
Gambar 4.6 Persentase perbandingan penurunan temperatur pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip dengan $Q = 60 \text{ lt/mnt}$.

Terlihat pada Gambar 4.4 sampai dengan 4.6, bahwa persentase penurunan temperatur terbesar yaitu pada pengujian menggunakan roda air dengan tiga sirip pada $Q = 60 \text{ lt/mnt}$, dengan penurunan temperatur $5,93 \text{ }^\circ\text{C}$ sedangkan pada nilai debit terkecil yaitu $Q = 38 \text{ lt/mnt}$ diperoleh penurunan temperatur sebesar $3,51 \text{ }^\circ\text{C}$. Untuk pengujian menggunakan temperatur dengan dua sirip, diperoleh penurunan temperatur terbesar yaitu $4,77 \text{ }^\circ\text{C}$ pada $Q = 60 \text{ lt/mnt}$. Sedangkan pengujian dengan menggunakan satu sirip cenderung memiliki nilai penurunan temperatur yang cenderung sama, baik yang menggunakan satu sirip di bagian tengah maupun satu sirip di bagian pinggir. Adapun nilai penurunan temperatur maksimal pada pengujian menggunakan satu sirip dengan $Q = 60 \text{ lt/mnt}$ yaitu $1,90 \text{ }^\circ\text{C}$.

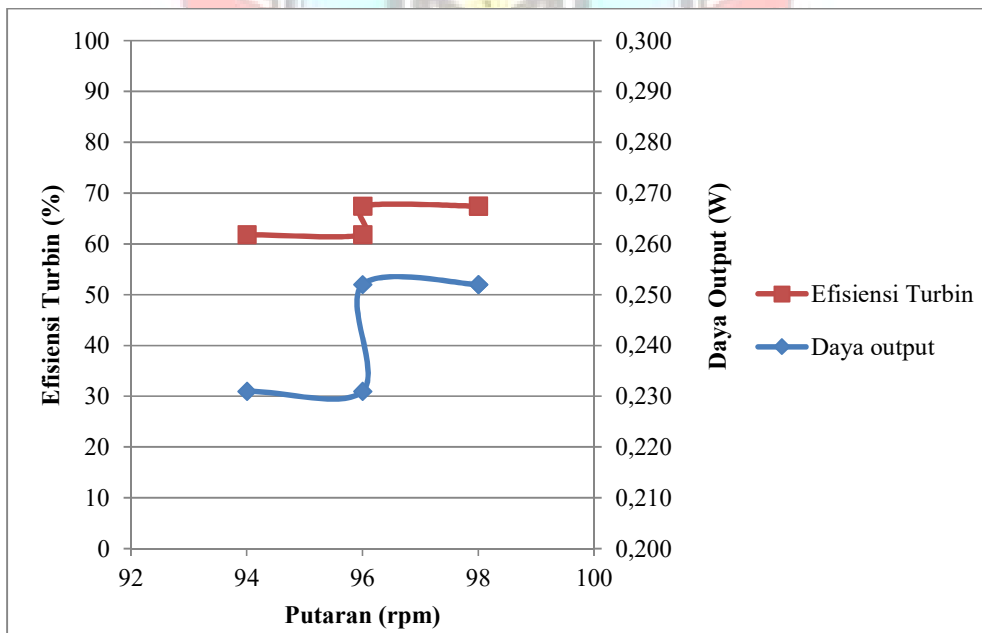


Gambar 4.7 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan nilai debit yang bervariasi

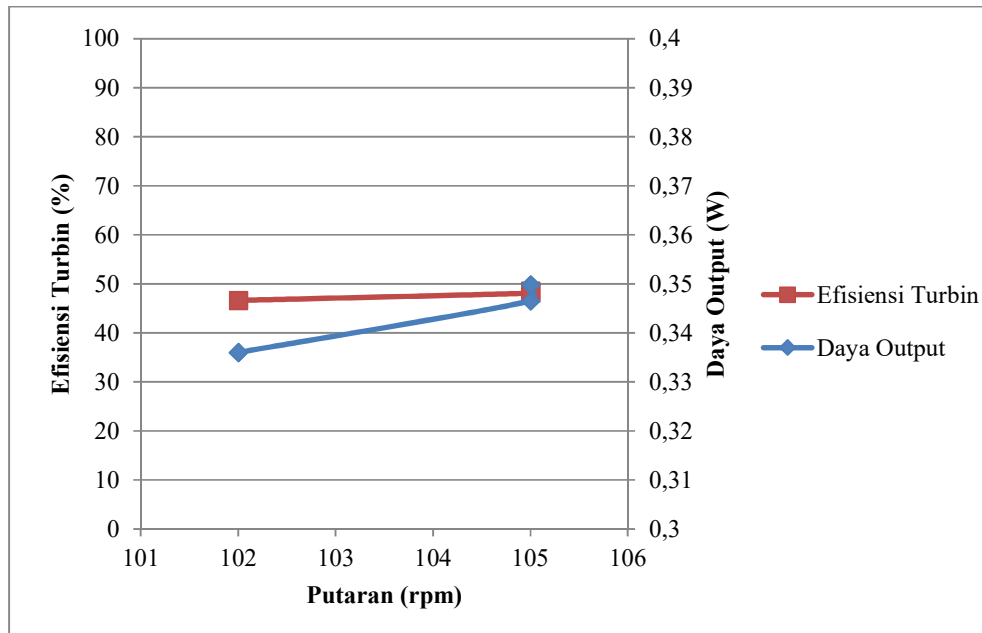
Pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai debit air, maka akan menghasilkan daya output yang semakin besar pula. Sama halnya dengan nilai efisiensi turbin cenderung meningkat seiring meningkatnya nilai putaran. Sesuai dengan rumus $E = cn\phi$, yang mana nilai tegangan generator berbanding lurus dengan putaran turbin roda air. Sesuai dengan fungsi yang diharapkan dari turbin roda air yaitu sebagai pembangkit daya yang nantinya dapat digunakan untuk kebutuhan listrik daerah kawasan PLTU. Dimana daya output terbesar yaitu 0,594 Watt dengan debit air 60 lt/mnt.



Gambar 4.8 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan tiga sirip ($Q = 38 \text{ lt/mnt}$).

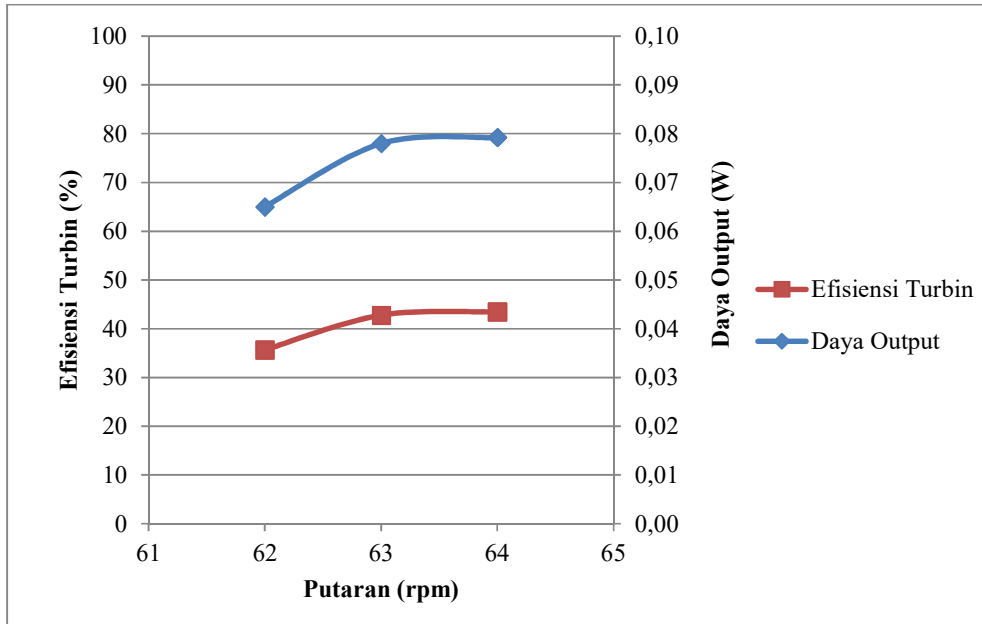


Gambar 4.9 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan tiga sirip ($Q = 48 \text{ lt/mnt}$).

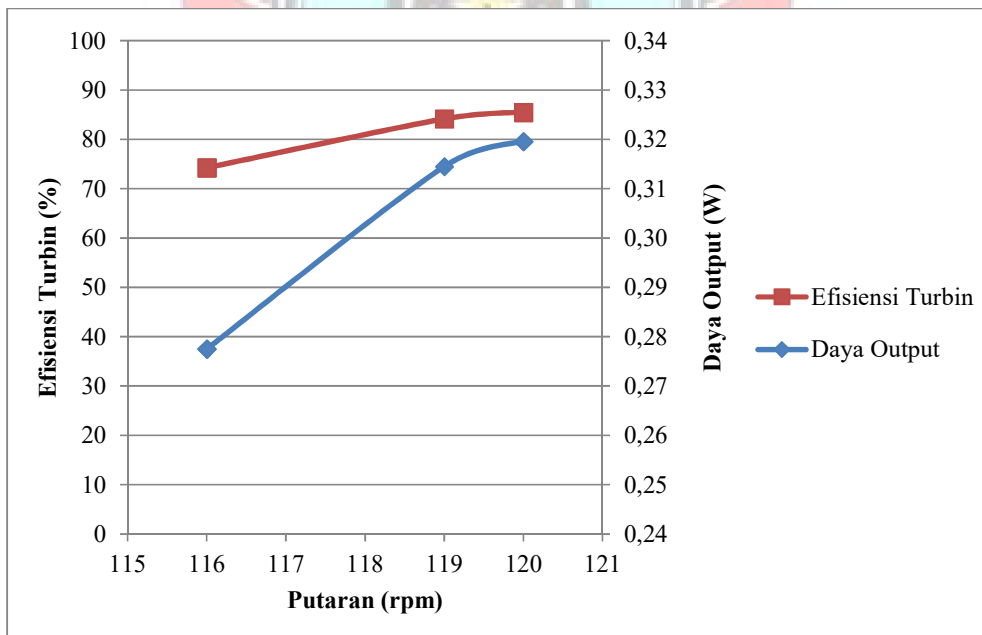


Gambar 4.10 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan tiga sirip ($Q = 60 \text{ lt/mnt}$).

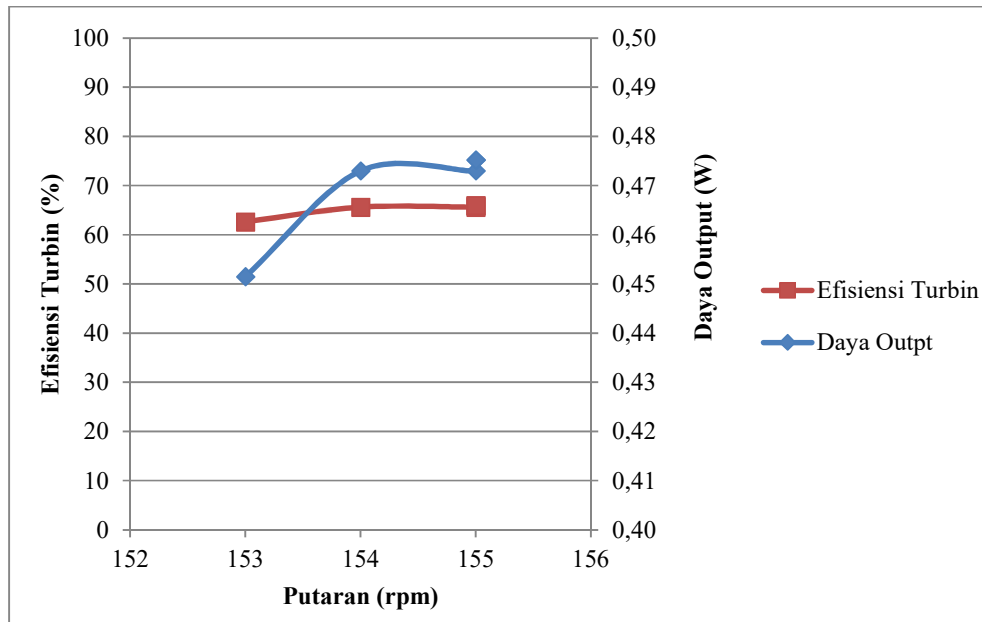
Terlihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10, bahwa daya output yang dihasilkan oleh turbin roda air yang memiliki tiga sirip pada bagian sudunya, cenderung menghasilkan daya output yang kecil. Meskipun menggunakan nilai debit terbesar, untuk $Q = 60 \text{ lt/mnt}$ diperoleh daya output sebesar 0,336 Watt. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya sirip yang ditempatkan pada bagian sudu turbin, maka akan memperlambat putaran dari turbin roda air. Dimana putaran dari turbin roda air berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh turbin, sama halnya dengan nilai efisiensi dari turbin roda air. Untuk nilai efisiensi turbin maksimum pada pengujian ini yaitu 67,42 % pada $Q = 48 \text{ lt/mnt}$.



Gambar 4.11 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan dua sirip ($Q = 38$ lt/mnt).

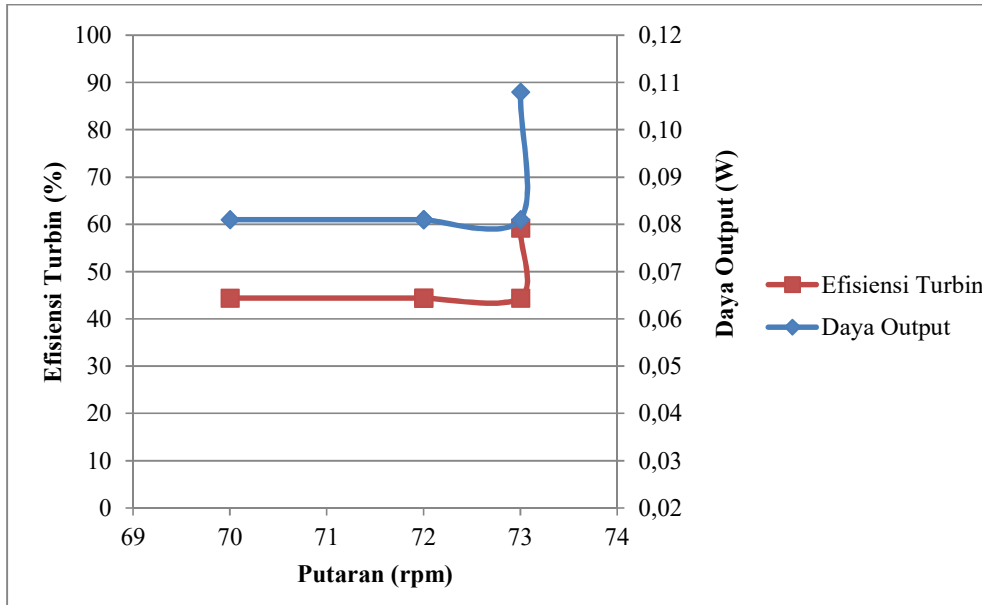


Gambar 4.12 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan dua sirip ($Q = 48$ lt/mnt).

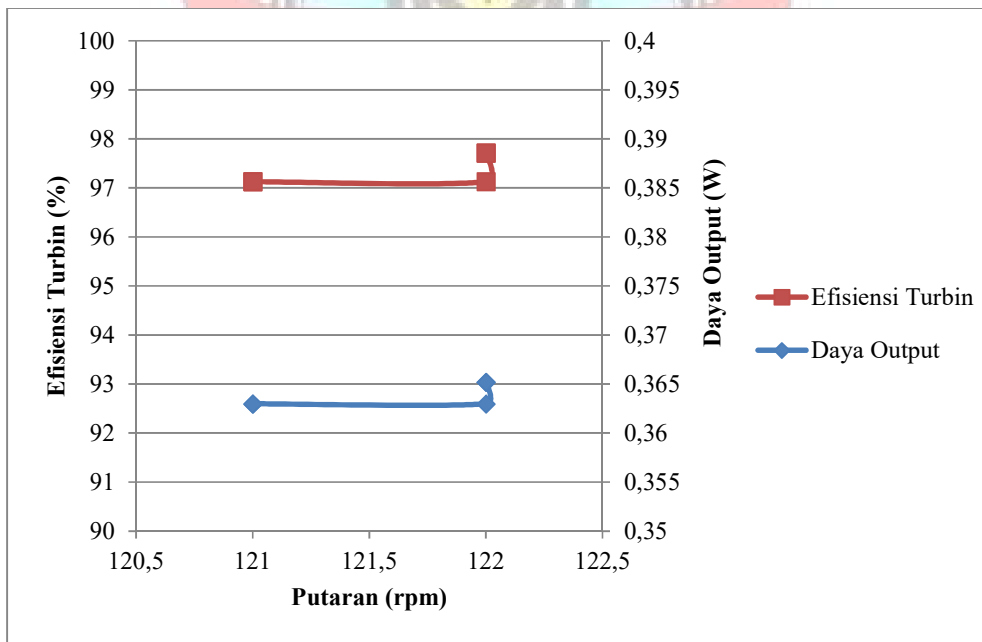


Gambar 4.13 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan dua sirip ($Q = 60 \text{ lt/mnt}$).

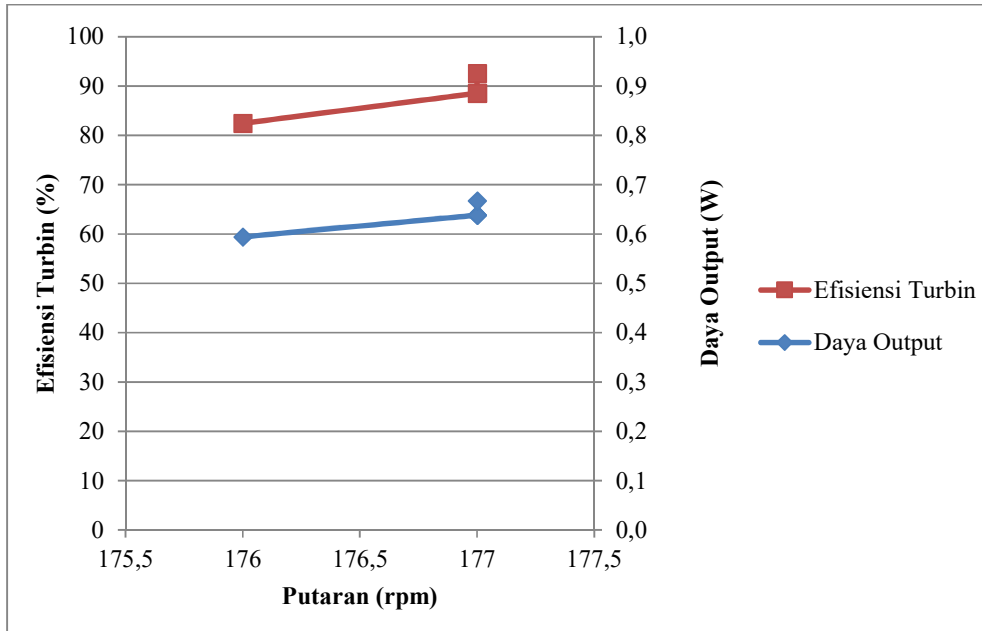
Pada Gambar 4.11 sampai dengan Gambar 4.13 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin roda air cenderung meningkat, hal ini dikarenakan telah dilakukan pengurangan sirip pada bagian sudu turbin. Dengan menggunakan dua sirip pada bagian sudu turbin maka akan membantu proses penurunan tempertaur air, selain itu dapat menghasilkan energi listrik yang cukup dengan memanfaatkan nilai debit yang bervariasi. Adapun daya maksimum yang dihasilkan oleh turbin roda air ini yaitu $0,475 \text{ Watt}$ dengan nilai debit air (Q) = 60 lt/mnt . Sedangkan untuk nilai efisiensi turbin maksimum yaitu $85,51 \%$ pada $Q = 48 \text{ lt/mnt}$.



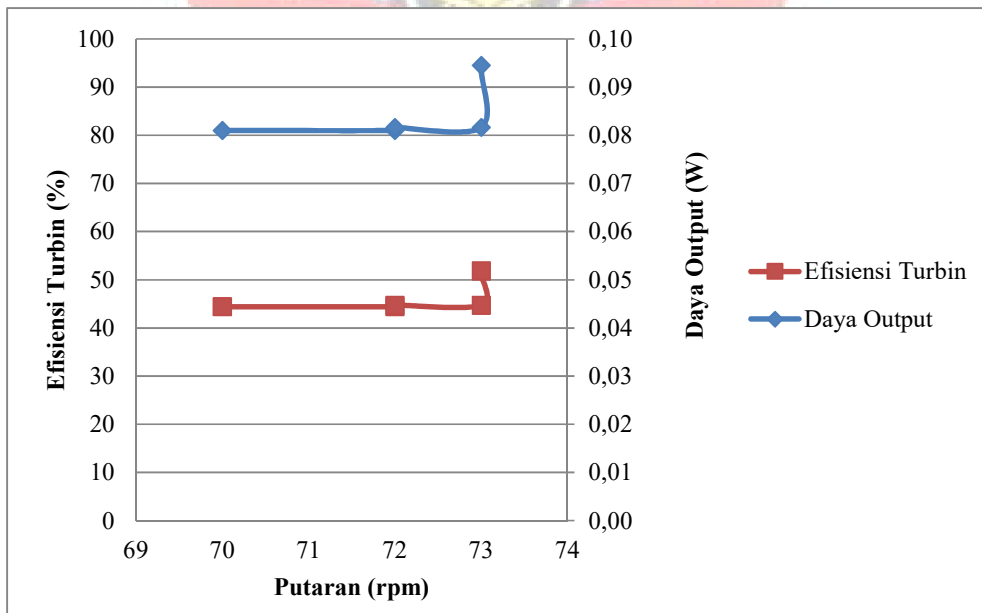
Gambar 4.14 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian tengah ($Q = 38$ lt/mnt).



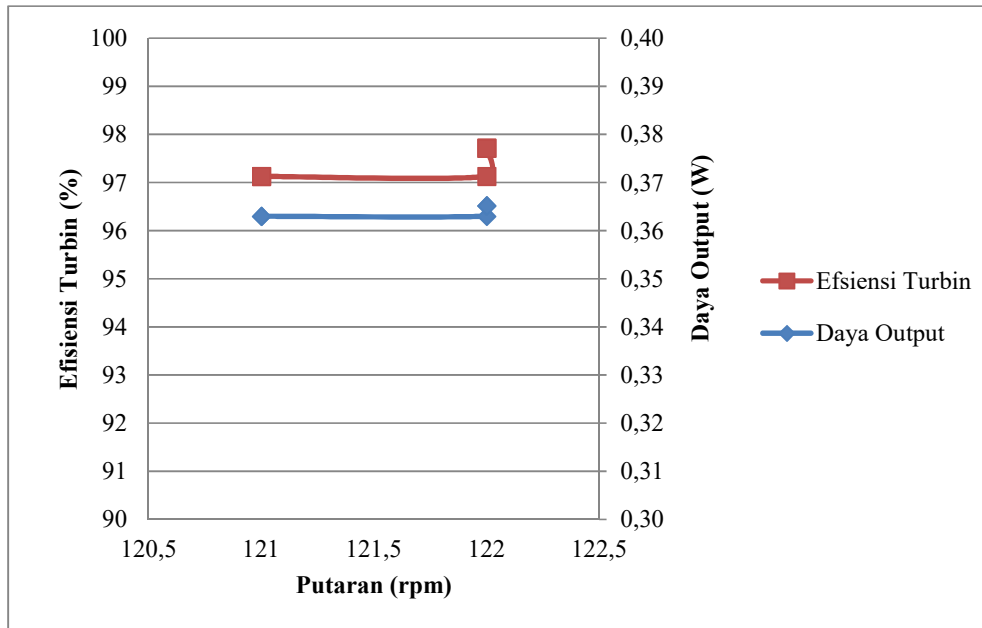
Gambar 4.15 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian tengah ($Q = 48$ lt/mnt).



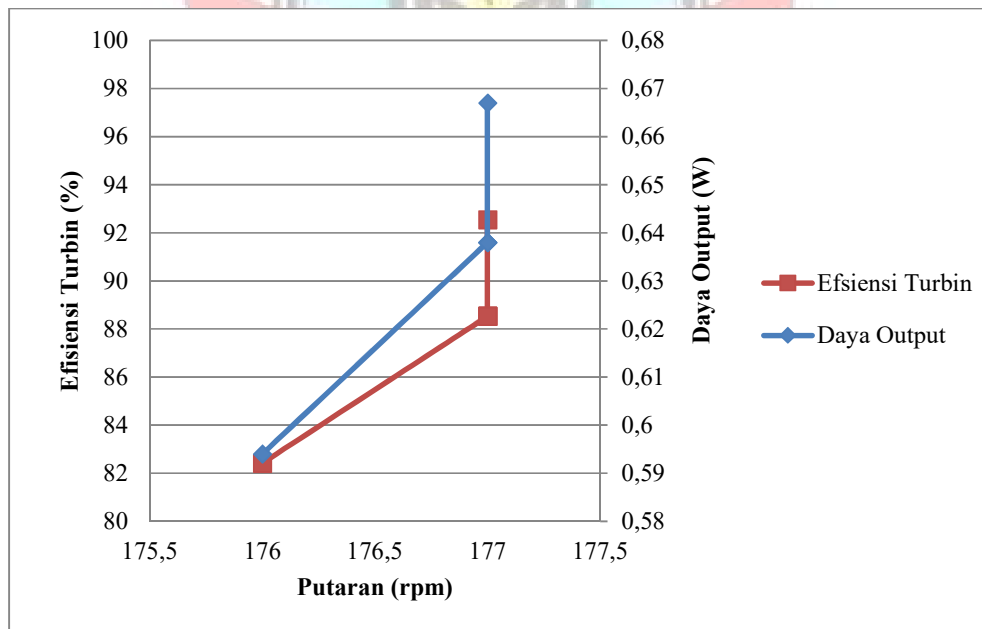
Gambar 4.16 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian tengah ($Q = 60$ lt/mnt).



Gambar 4.17 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian pinggir ($Q = 38$ lt/mnt).

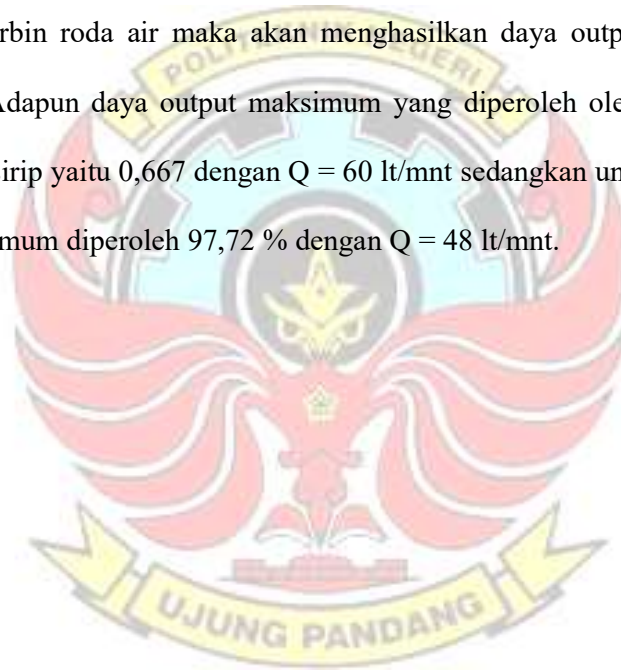


Gambar 4.18 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian pinggir ($Q = 48 \text{ lt/mnt}$).



Gambar 4.19 Hubungan antara putaran terhadap efisiensi turbin dan daya output pada pengujian turbin roda air dengan satu sirip dibagian pinggir ($Q = 60 \text{ lt/mnt}$).

Terlihat pada Gambar 4.14 sampai dengan Gambar 4.19 yaitu hubungan antara efisiensi turbin dan daya output terhadap putaran, bahwa dengan menggunakan turbin roda air dengan satu sirip pada bagian sudunya akan menghasilkan daya output yang semakin besar, sama halnya dengan nilai efisiensi turbin yang diperoleh. Hal ini dikarenakan pada turbin roda air yang hanya mempunyai satu sirip memiliki putaran yang lebih cepat karena kurangnya sirip-sirip yang terpasang pada bagian sudu. Sehingga, dengan putaran besar yang dihasilkan turbin roda air maka akan menghasilkan daya output yang semakin besar pula. Adapun daya output maksimum yang diperoleh oleh turbin roda air dengan satu sirip yaitu 0,667 dengan $Q = 60$ lt/mnt sedangkan untuk nilai efisiensi turbin maksimum diperoleh 97,72 % dengan $Q = 48$ lt/mnt.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Turbin roda air dengan tiga sirip pada bagian sudunya mengalami penurunan temperatur yang sangat cepat sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan sirip menambah efektivitas penurunan temperatur air, selain itu memanfaatkan nilai debit yang besar akan membantu air untuk menabrak sudu-sudu turbin yang dilengkapi sirip sehingga semakin mempercepat proses penurunan temperatur.
2. Turbin roda air dengan satu sirip pada bagian sudunya memiliki putaran yang sangat cepat sehingga memperoleh daya output dan nilai efisiensi turbin yang semakin besar pula.

5.2 Saran

Berikut saran yang dapat menjadi masukan bagi perusahaan atau untuk pengembangan penelitian yaitu suatu pembangkitan khususnya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sangat dianjurkan untuk menggunakan turbin roda air pada waste water pit PLTU, agar membantu proses penurunan temperatur dan menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan debit air buangan pembangkitan.

DAFTAR PUSTAKA

- Buku Petunjuk Praktikum Satuan Operasi. 2004. *Agitasi dan Pencampuran*. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.
- Dewi, E. P. 2011. *Analisis Sumbangan Nilai Ekonomi Air pada kincir Air Irigasi Terhadap Pendapatan Petani dan Masyarakat Tani*. Jurnal Teknologi Pertanian pada Universitas Andalas.
- Handoyo, Ekadewi. 1999. *Pengaruh Temperatur Air Pendingin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Stasioner di Sebuah Huller*. Surabaya: Universitas Eka Petra.
- Hasan, Achmad. 2006. *Dampak Penggunaan Klorin, P3 Teknologi Konversi Energi, Deputi Teknologi Informasi Energi Material dan Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*. Jakarta.
- Holman, J.P. 1994. *Heat Transfer*. Tenth Edition. Department of Mechanical Engineering Southem Methodist University.
- Hussain H, Al-Kaylem. 2015. *The influence of the equivalent hydraulic diameter on the pressure drop prediction of annular test section*. Universitas Teknologi Petronas.
- Hutomo, malikusworo. 1992. *Dampak Pembangkit Tenaga Listrik (Terutama Limbah Termal) Terhadap Ekosistem Akuatik*. Oseana, Volume XVII.
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Edisi kelima, John Wiley & Son Pte. Ltd. Singapore, 2005.
- Iqbal, Muhammad. 2013. *Laporan Kerja Praktek Lapangan di PLTU NII TANASA Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang*.
- Koestoer, Raldi Artono. 2002. *Perpindahan Kalor : Untuk Mahasiswa Teknik*. Jakarta : Salemba Teknika.
- Mahatma. 2013. *Prandtl Number*. (Online). eprints.undip.ac.id/41150/3/BAB_II.pdf. (Diakses pada tanggal 8 September 2017).
- Martono, A. 1984. *Batasan suhu limbah air pendingin PLTU*. Diskusi ilmiah tentang Masalah limbah Air Panas, Jakarta, 17 Januari 1984. PUSLIDIK Masalah Kelistrikan, PLN: 11 hal.
- Operation & Maintenance Manual Cooling Water System*, Sumitomo Corporation, PT. ANTAM Tbk., 2016.

- Panggabean, D. 2003. *Meningkatkan Debit Angkatan Kincir Air Dengan Perilaku Luas Sudu-sudu*. Jurnal Tata Air Pertanian pada Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh.
- Rakasiwi, Abryan, dkk. 2016. *Pengaruh Sudu-Sudu Pada Model Kincir Air Undershoot Untuk Irigasi Pertanian*. Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru.
- Simanjuntak, Oloni Togu. 2015. *Studi Keandalan (Reliability) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Labuhan Angin Sibolga*. Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU).



L

A

M

P

I

R

A

N



LAMPIRAN

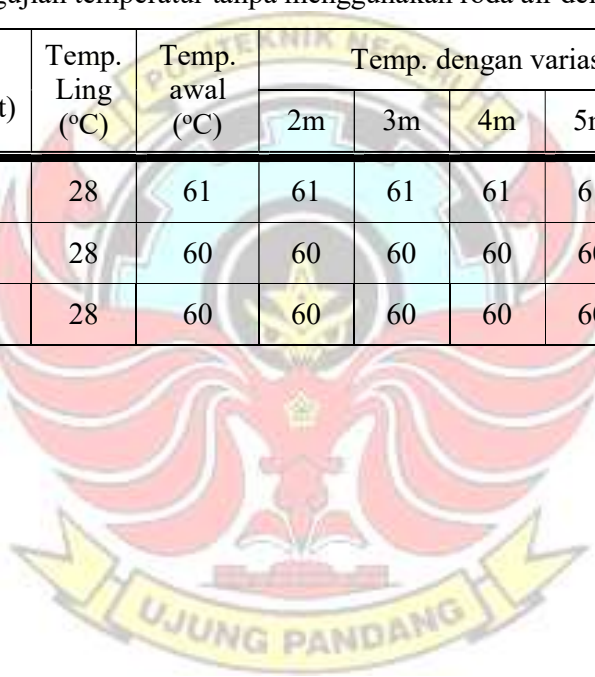
Lampiran 1 Data Pengujian Tanpa Menggunakan Roda Air

Data hasil pengujian temperatur tanpa menggunakan roda air

No	Temperatur awal (°C)	Temperatur akhir (°C)	Temperatur lingkungan (°C)
1	51	50	28

Data hasil pengujian temperatur tanpa menggunakan roda air dengan variasi jarak

No	Q (lt/menit)	Temp. Ling (°C)	Temp. awal (°C)	Temp. dengan variasi jarak (°C)					
				2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	38	28	61	61	61	61	61	61	60
2	48	28	60	60	60	60	60	60	60
3	60	28	60	60	60	60	60	59	59



Lampiran 2 Data hasil Pengujian Menggunakan Roda Air

Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air

No	Temperatur awal (°C)	Temperatur akhir (°C)	Temperatur lingkungan (°C)
1	50	43	28
2	50	42	28
3	50	42	28
4	50	40	28



I

Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,24	0,05	59	27	32	52	49,89	49,81	49,70	49,56	49,38	49
2	1,24	0,05	59	27	32	52	49,87	49,80	49,66	49,54	49,36	48,86
3	1,25	0,05	59	27	32	52	49,87	49,78	49,66	48,47	49,34	48,77
4	1,25	0,05	60	27	32	52	49,84	49,62	48,57	48,45	48,21	47,95
5	1,25	0,06	60	27	32	52	49,82	49,59	48,53	48,41	48,23	47,86



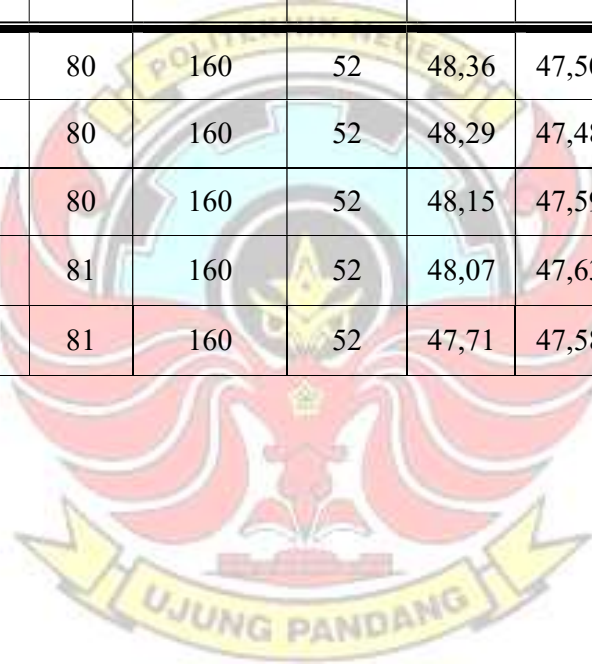
Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 48\text{lt/menit}$)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,65	0,14	94	63	90	52	48,98	48,88	48,72	48,22	47,91	47,77
2	1,65	0,14	96	63	90	52	48,96	48,54	48,18	47,88	47,82	47,53
3	1,68	0,15	96	63	90	52	48,95	48,67	47,93	47,88	47,62	47,05
4	1,68	0,15	98	63	90	52	48,94	48,77	47,91	47,87	47,70	47
5	1,68	0,15	98	63	90	52	48,94	48,80	47,96	47,75	46,91	46,80



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 60\text{lt/menit}$)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,1	0,16	102	80	160	52	48,36	47,50	47,37	47,28	47,02	46,67
2	2,1	0,16	102	80	160	52	48,29	47,48	47,35	46,95	46,78	46,24
3	2,1	0,165	105	80	160	52	48,15	47,59	47,33	46,98	46,34	46,13
4	2,12	0,165	105	81	160	52	48,07	47,63	47,32	46,96	46,29	46
5	2,12	0,165	105	81	160	52	47,71	47,58	46,25	46,08	46,04	45,32



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 38\text{lt/menit}$)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,3	0,05	62	27	30	52	50,05	49,76	49,41	49,12	49,08	49,05
2	1,3	0,05	62	27	30	52	50,03	49,74	49,41	49,11	49,08	49,02
3	1,3	0,06	63	27	30	52	50,03	49,74	49,36	49,10	49,08	49
4	1,32	0,06	64	27	30	52	50,01	49,68	49,36	49	49,05	49
5	1,32	0,06	64	27	30	52	49,99	49,70	49,28	48,82	49,02	49



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 48\text{lt/menit}$)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,85	0,15	116	50	90	52	49,86	49,83	49,41	49,27	48,99	48,95
2	1,85	0,15	116	50	90	52	49,83	49,78	49,44	49,34	48,99	48,93
3	1,85	0,17	119	54	130	52	49,78	49,74	49,36	49,18	48,99	48,93
4	1,88	0,17	120	54	130	52	49,69	49,41	49,08	49,04	48,97	48,62
5	1,88	0,17	120	54	130	52	49,66	49,43	49,28	49,12	48,74	48,51



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,15	0,21	153	76	135	52	49,51	49,50	49,25	48,93	48,57	48,51
2	2,15	0,22	154	76	135	52	49,51	49,25	49,22	48,71	48,55	48,50
3	2,15	0,22	155	76	135	52	49,49	49,26	49,10	48,68	48,54	48,49
4	2,16	0,22	155	76	135	52	49,49	49,13	48,97	48,68	48,52	48,46
5	2,16	0,22	155	76	135	52	49,48	49,07	48,81	48,67	48,50	48,09



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,35	0,06	70	26	31	52	51,23	51,18	51,07	50,95	50,94	50,9
2	1,35	0,06	72	26	31	52	51,23	51,15	51,01	50,93	50,89	50,87
3	1,35	0,06	72	26	31	52	51,2	51,15	51	50,92	50,88	50,85
4	1,35	0,06	73	26	31	52	51,18	51,12	50,98	50,91	50,85	50,84
5	1,35	0,08	73	26	31	52	51,15	51,12	50,96	50,9	50,82	50,82



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak ($Q = 48$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,2	0,165	121	37	65	52	51,06	51,02	50,97	50,95	50,87	50,82
2	2,2	0,165	121	37	65	52	51,02	50,97	50,92	50,87	50,76	50,62
3	2,2	0,165	122	37	65	52	50,97	50,88	50,75	50,63	50,61	50,54
4	2,2	0,166	122	37	65	52	50,89	50,78	50,67	50,59	50,45	50,39
5	2,2	0,166	122	37	65	52	50,83	50,71	50,58	50,45	50,34	50,21



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,2	0,27	176	65	98	52	50,82	50,75	50,62	50,54	50,44	50,41
2	2,2	0,29	177	65	98	52	50,78	50,67	50,60	50,39	50,35	50,30
3	2,2	0,29	177	65	98	52	50,65	50,54	50,34	50,21	50,16	50,02
4	2,2	0,29	177	65	98	52	50,45	50,3	50,27	50,18	50,03	49,94
5	2,3	0,29	177	65	98	52	50,21	50,17	50,09	49,97	49,89	49,81



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	1,35	0,06	70	26	31	52	51,24	51,18	51,07	50,96	50,94	50,9
2	1,35	0,06	72	26	31	52	51,24	51,14	51,03	50,94	50,89	50,9
3	1,36	0,06	72	26	31	52	51,22	51,14	51,03	50,93	50,89	50,87
4	1,36	0,06	73	26	31	52	51,2	51,14	51	50,93	50,88	50,87
5	1,35	0,07	73	26	31	52	51,18	51,12	50,98	50,9	50,85	50,83



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 48$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,2	0,165	121	37	65	52	51,08	51,04	50,99	50,95	50,87	50,82
2	2,2	0,165	121	37	65	52	51,04	50,98	50,94	50,87	50,76	50,62
3	2,2	0,165	122	37	65	52	50,99	50,98	50,91	50,87	50,61	50,57
4	2,2	0,166	122	37	65	52	50,89	50,8	50,68	50,63	50,61	50,44
5	2,2	0,166	122	37	65	52	50,85	50,79	50,61	50,55	50,45	50,25



Data hasil pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	n (rpm)	Head (cm)	Pancaran (cm)	Temp. awal	Temp. dengan variasi jarak					
							2m	3m	4m	5m	6m	7m
1	2,2	0,27	176	65	98	52	50,82	50,75	50,65	50,54	50,44	50,41
2	2,2	0,29	177	65	98	52	50,78	50,67	50,6	50,36	50,35	50,3
3	2,2	0,29	177	65	98	52	50,63	50,54	50,34	50,21	50,16	50,02
4	2,2	0,29	177	65	98	52	50,45	50,3	50,23	50,18	50,03	49,96
5	2,3	0,29	177	65	98	52	50,21	50,17	50,09	49,97	49,92	49,83



Lampiran 3 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Menggunakan Turbin Roda Air

Hasil analisis data pengujian temperatur tanpa menggunakan roda air

No	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)
1	50,5	0,001	0,042	21565,63	3,57E X10 ⁻⁶	1,565	3,536	0,085

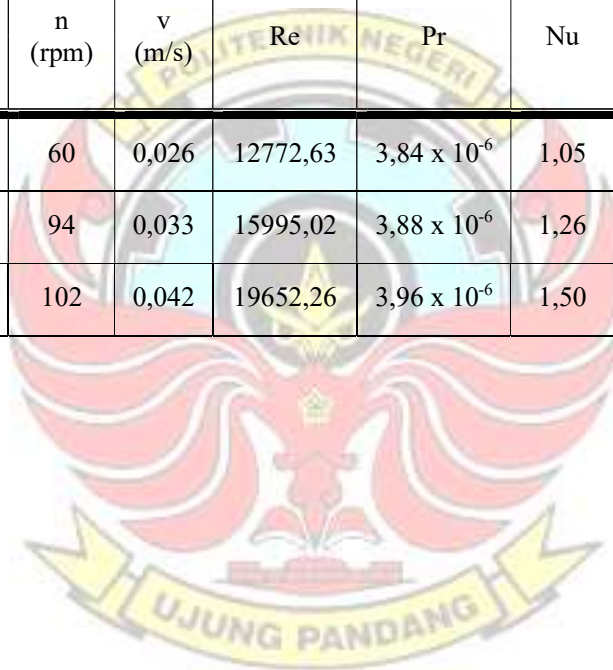
Hasil analisis data pengujian temperatur tanpa menggunakan roda air dengan variasi jarak

No	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)
1	60,86	0,000633	0,026	16050,47	2,99 X10 ⁻⁶	1,172	2,693	0,065
2	60,14	0,000800	0,033	20059,77	3,02 X10 ⁻⁶	1,405	3,229	0,078
3	59,71	0,001000	0,042	24911,31	3,05 X10 ⁻⁶	1,675	3,844	0,092

Lampiran 4 Hasil Analisis Data Pengujian Menggunakan Turbin Roda Air

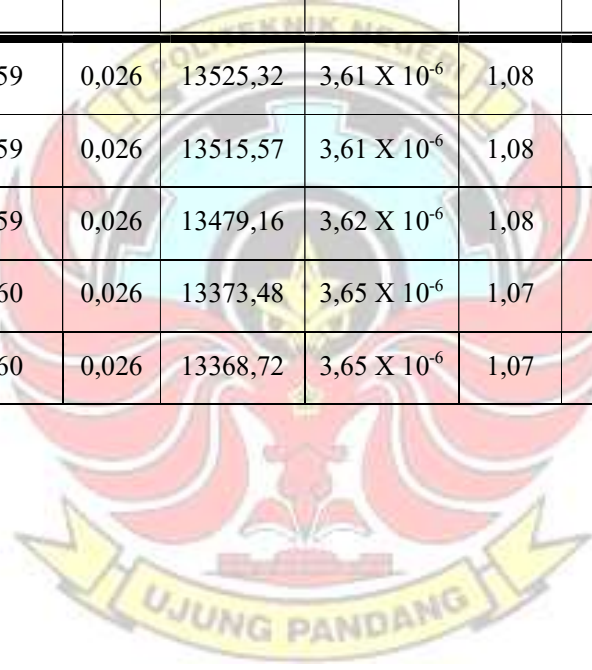
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² ·K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,35	0,06	46,5	0,00063	60	0,026	12772,63	3,84 x 10 ⁻⁶	1,05	2,36	0,40	0,50	0,08	16,16
2	2,2	0,165	46	0,00080	94	0,033	15995,02	3,88 x 10 ⁻⁶	1,26	2,83	0,54	0,91	0,36	39,86
3	2,2	0,27	45	0,00100	102	0,042	19652,26	3,96 x 10 ⁻⁶	1,50	3,35	0,81	1,73	0,59	34,28



Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,24	0,05	49,91	0,00063	59	0,026	13525,32	3,61 X 10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,18	0,50063	0,062	12,38
2	1,24	0,05	49,87	0,00063	59	0,026	13515,57	3,61 X 10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,18	0,50064	0,062	12,38
3	1,25	0,05	49,70	0,00063	59	0,026	13479,16	3,62 X 10 ⁻⁶	1,08	2,43	0,19	0,50067	0,0625	12,48
4	1,25	0,05	49,23	0,00063	60	0,026	13373,48	3,65 X 10 ⁻⁶	1,07	2,43	0,24	0,50078	0,0625	12,48
5	1,25	0,06	49,21	0,00063	60	0,026	13368,72	3,65 X 10 ⁻⁶	1,07	2,42	0,24	0,50079	0,075	14,98



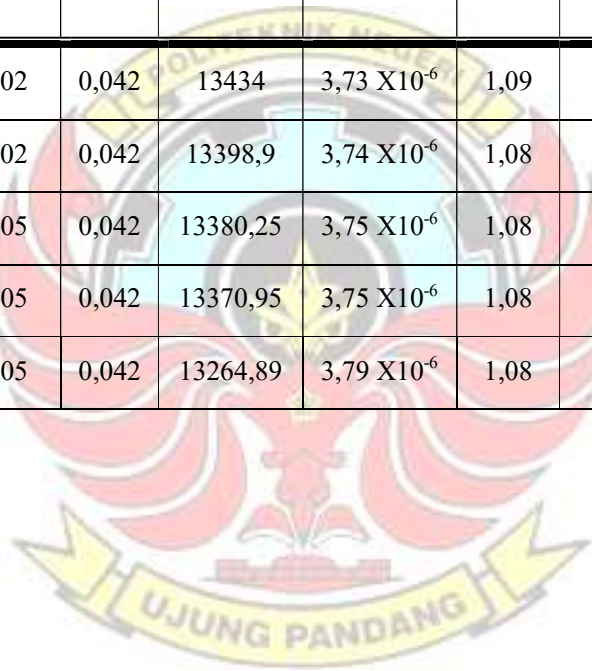
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 48$ lt/menit)

No	V (volt)	I (A)	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
1	1,65	0,14	48,93	0,0008	94	0,033	16808,95	$3,67 \times 10^{-6}$	1,29	2,91	0,30	0,909	0,231	25,40
2	1,65	0,14	48,70	0,0008	96	0,033	16743,64	$3,69 \times 10^{-6}$	1,29	2,91	0,31	0,910	0,231	25,40
3	1,68	0,15	48,59	0,0008	96	0,033	16714,12	$3,69 \times 10^{-6}$	1,29	2,90	0,35	0,910	0,252	27,71
4	1,68	0,15	48,60	0,0008	98	0,033	16717,07	$3,69 \times 10^{-6}$	1,29	2,90	0,35	0,910	0,252	27,71
5	1,68	0,15	48,45	0,0008	98	0,033	16675,9	$3,7 \times 10^{-6}$	1,29	2,90	0,36	0,910	0,252	27,70



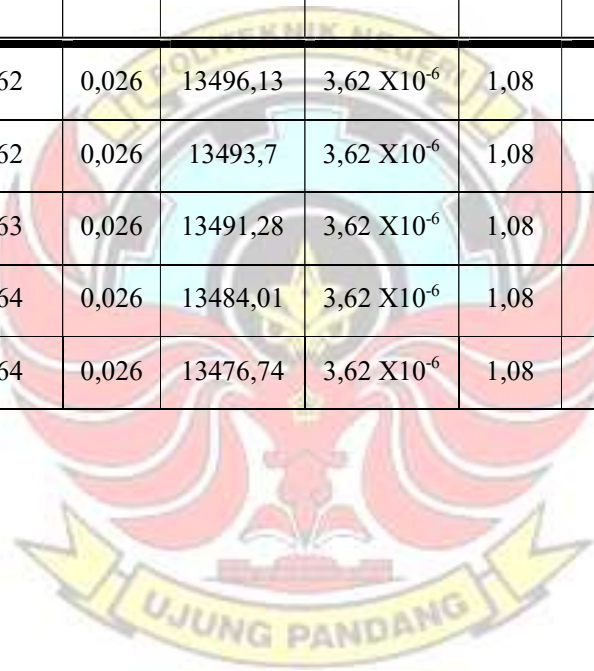
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air tiga sirip dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,1	0,16	48,03	0,001	102	0,042	13434	3,73 X10 ⁻⁶	1,09	3,76	0,48	1,731	0,336	19,42
2	2,1	0,16	47,87	0,001	102	0,042	13398,9	3,74 X10 ⁻⁶	1,08	3,76	0,52	1,731	0,336	19,42
3	2,1	0,165	47,79	0,001	105	0,042	13380,25	3,75 X10 ⁻⁶	1,08	3,76	0,53	1,731	0,3465	20,02
4	2,12	0,165	47,75	0,001	105	0,042	13370,95	3,75 X10 ⁻⁶	1,08	3,75	0,54	1,731	0,3498	20,21
5	2,12	0,165	47,28	0,001	105	0,042	13264,89	3,79 X10 ⁻⁶	1,08	3,74	0,60	1,729	0,3498	20,23



Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,3	0,05	49,78	0,00063	62	0,026	13496,13	3,62 X10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,17	0,501	0,065	12,98
2	1,3	0,05	49,77	0,00063	62	0,026	13493,7	3,62 X10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,17	0,501	0,065	12,98
3	1,3	0,06	49,76	0,00063	63	0,026	13491,28	3,62 X10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,18	0,501	0,078	15,58
4	1,32	0,06	49,73	0,00063	64	0,026	13484,01	3,62 X10 ⁻⁶	1,08	2,44	0,18	0,501	0,079	15,82
5	1,32	0,06	49,69	0,00063	64	0,026	13476,74	3,62 X10 ⁻⁶	1,08	2,43	0,18	0,501	0,079	15,82



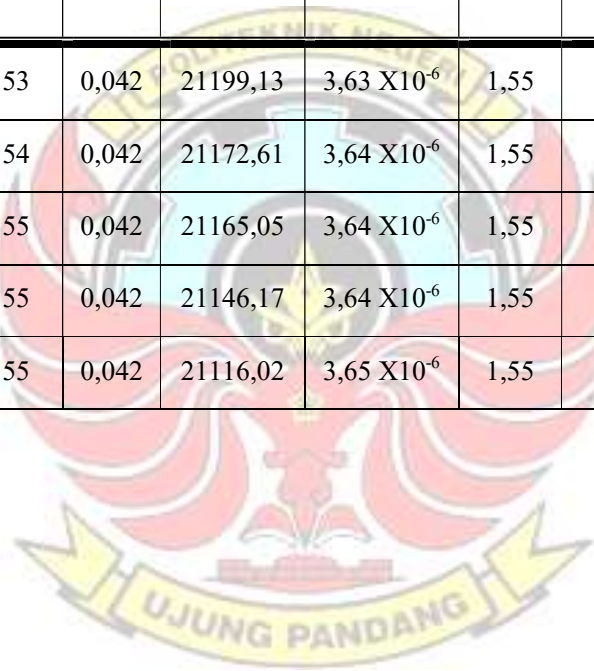
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 48$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,85	0,15	49,76	0,0008	116	0,033	17041,61	3,62 X10 ⁻⁶	1,30	2,94	0,22	0,909	0,278	30,52
2	1,85	0,15	49,76	0,0008	116	0,033	17041,61	3,62 X10 ⁻⁶	1,30	2,94	0,22	0,909	0,278	30,52
3	1,85	0,17	49,71	0,0008	119	0,033	17029,37	3,62 X10 ⁻⁶	1,30	2,94	0,22	0,909	0,315	34,59
4	1,88	0,17	49,54	0,0008	120	0,033	16980,57	3,63 X10 ⁻⁶	1,30	2,93	0,24	0,909	0,320	35,15
5	1,88	0,17	49,53	0,0008	120	0,033	16977,52	3,63 X10 ⁻⁶	1,30	2,93	0,25	0,909	0,320	35,15



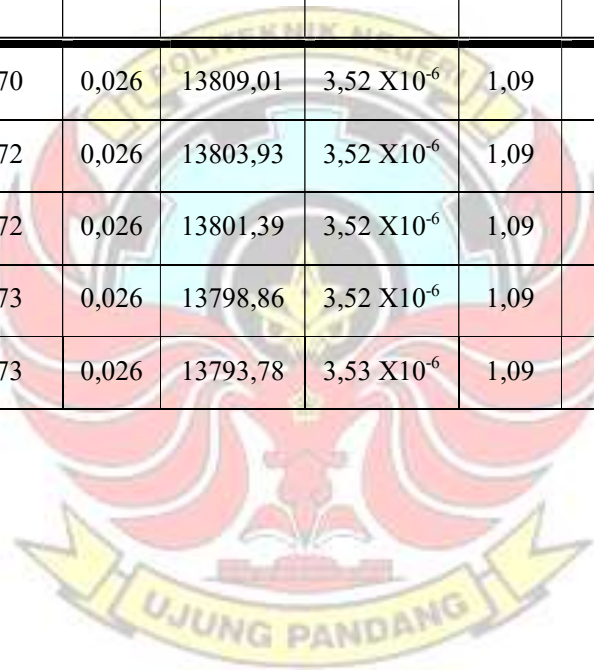
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air dua sirip dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,15	0,21	49,47	0,001	153	0,042	21199,13	3,63 X10 ⁻⁶	1,55	3,50	0,29	1,729	0,452	26,11
2	2,15	0,22	49,39	0,001	154	0,042	21172,61	3,64 X10 ⁻⁶	1,55	3,50	0,29	1,730	0,473	27,35
3	2,15	0,22	49,37	0,001	155	0,042	21165,05	3,64 X10 ⁻⁶	1,55	3,50	0,30	1,730	0,473	27,35
4	2,16	0,22	49,32	0,001	155	0,042	21146,17	3,64 X10 ⁻⁶	1,55	3,50	0,30	1,730	0,475	27,47
5	2,16	0,22	49,23	0,001	155	0,042	21116,02	3,65 X10 ⁻⁶	1,55	3,49	0,33	1,730	0,475	27,47



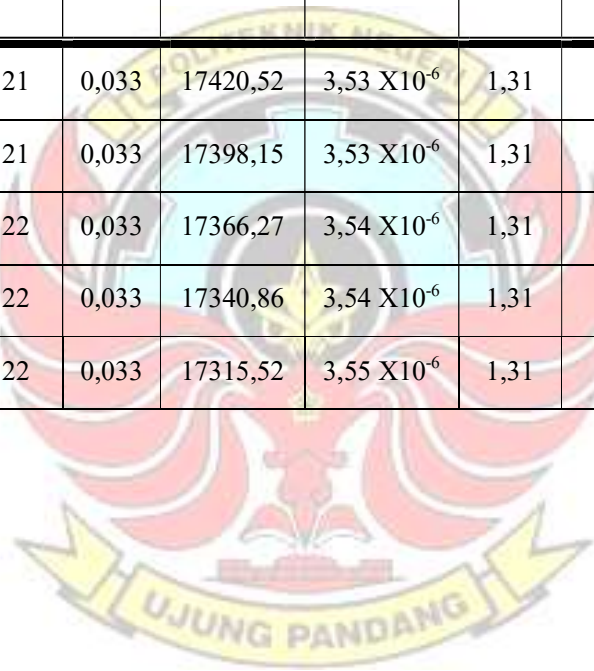
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak (Q = 38 lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,35	0,06	51,18	0,00063	70	0,026	13809,01	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,17	0,50	0,081	16,19
2	1,35	0,06	51,15	0,00063	72	0,026	13803,93	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,18	0,50	0,081	16,19
3	1,35	0,06	51,14	0,00063	72	0,026	13801,39	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,18	0,50	0,081	16,19
4	1,35	0,06	51,13	0,00063	73	0,026	13798,86	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,18	0,50	0,081	16,19
5	1,35	0,08	51,11	0,00063	73	0,026	13793,78	3,53 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,19	0,50	0,108	21,58



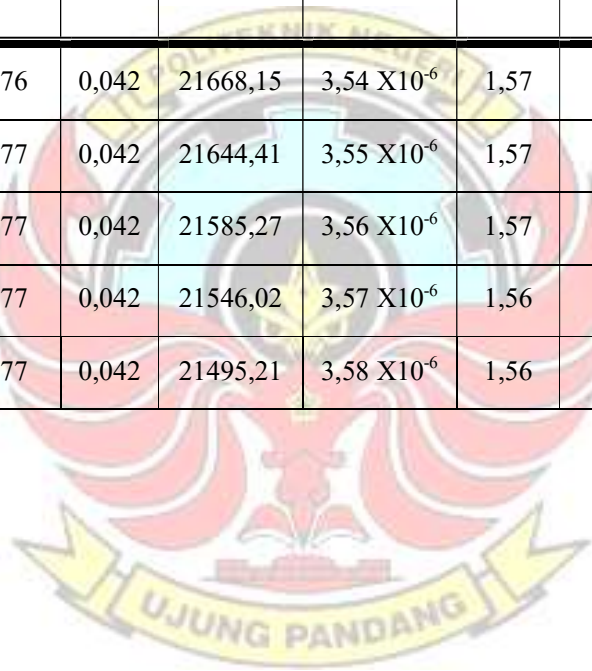
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak (Q = 48 lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,2	0,165	51,10	0,0008	121	0,033	17420,52	3,53 X10 ⁻⁶	1,31	2,98	0,08	0,909	0,363	39,95
2	2,2	0,165	51,02	0,0008	121	0,033	17398,15	3,53 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,10	0,909	0,363	39,95
3	2,2	0,165	50,91	0,0008	122	0,033	17366,27	3,54 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,10	0,909	0,363	39,95
4	2,2	0,166	50,82	0,0008	122	0,033	17340,86	3,54 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,11	0,909	0,3652	40,19
5	2,2	0,166	50,73	0,0008	122	0,033	17315,52	3,55 X10 ⁻⁶	1,31	2,96	0,13	0,909	0,3652	40,19



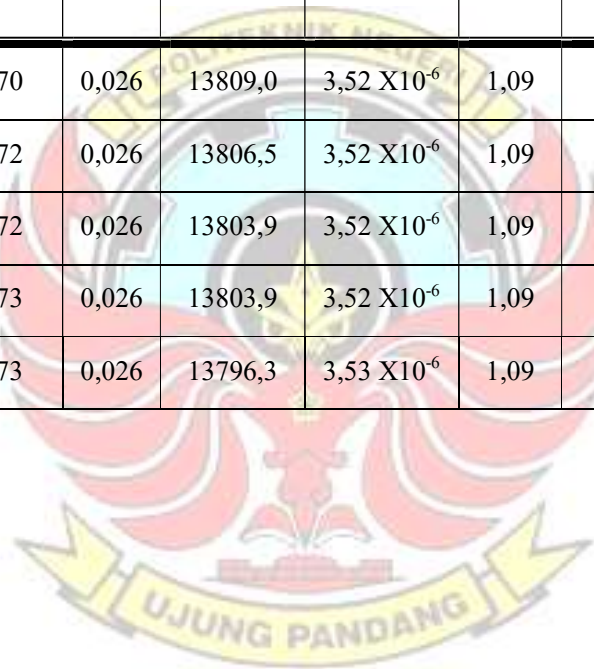
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian tengah dengan variasi jarak (Q = 60 lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,2	0,27	50,80	0,001	176	0,042	21668,15	3,54 X10 ⁻⁶	1,57	3,55	0,14	1,728	0,594	34,37
2	2,2	0,29	50,73	0,001	177	0,042	21644,41	3,55 X10 ⁻⁶	1,57	3,54	0,14	1,728	0,638	36,91
3	2,2	0,29	50,56	0,001	177	0,042	21585,27	3,56 X10 ⁻⁶	1,57	3,54	0,17	1,729	0,638	36,91
4	2,2	0,29	50,45	0,001	177	0,042	21546,02	3,57 X10 ⁻⁶	1,56	3,53	0,18	1,729	0,638	36,91
5	2,3	0,29	50,31	0,001	177	0,042	21495,21	3,58 X10 ⁻⁶	1,56	3,53	0,19	1,729	0,667	38,58



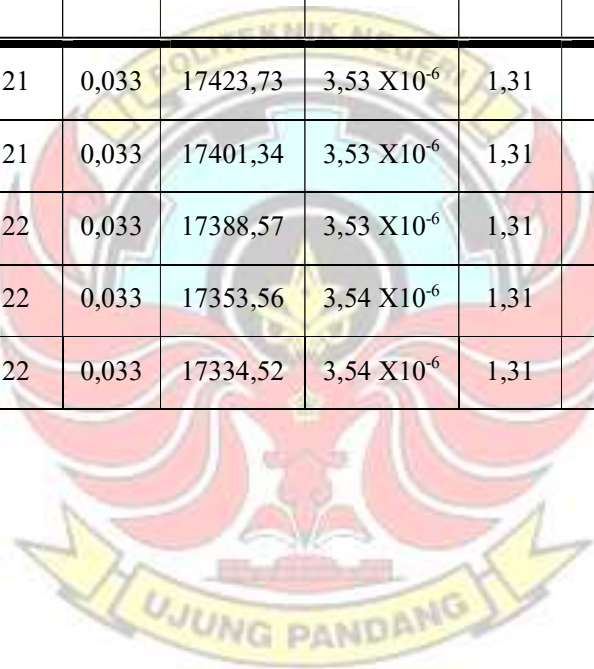
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 38$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	1,35	0,06	51,18	0,00063	70	0,026	13809,0	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,07	0,500	0,081	16,19
2	1,35	0,06	51,16	0,00063	72	0,026	13806,5	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,07	0,500	0,081	16,19
3	1,36	0,06	51,15	0,00063	72	0,026	13803,9	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,07	0,500	0,082	16,31
4	1,36	0,06	51,15	0,00063	73	0,026	13803,9	3,52 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,07	0,500	0,082	16,31
5	1,35	0,07	51,12	0,00063	73	0,026	13796,3	3,53 X10 ⁻⁶	1,09	2,47	0,07	0,500	0,095	18,89



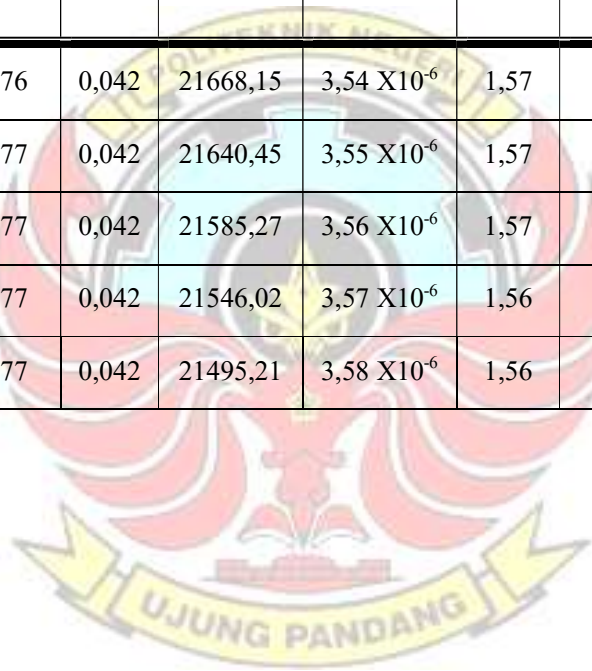
Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 48$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,2	0,165	51,11	0,0008	121	0,033	17423,73	3,53 X10 ⁻⁶	1,31	2,98	0,08	0,920	0,363	39,46
2	2,2	0,165	51,03	0,0008	121	0,033	17401,34	3,53 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,10	0,920	0,363	39,46
3	2,2	0,165	50,99	0,0008	122	0,033	17388,57	3,53 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,10	0,920	0,363	39,46
4	2,2	0,166	50,86	0,0008	122	0,033	17353,56	3,54 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,11	0,920	0,365	39,70
5	2,2	0,166	50,79	0,0008	122	0,033	17334,52	3,54 X10 ⁻⁶	1,31	2,97	0,12	0,920	0,365	39,70



Hasil analisis data pengujian temperatur menggunakan roda air satu sirip dibagian pinggir dengan variasi jarak ($Q = 60$ lt/menit)

No	V	I	\bar{T} (°C)	Q (m ³ /s)	n (rpm)	v (m/s)	Re	Pr	Nu	\bar{h}_c (W/m ² .K)	q _c (W)	P _{in} (J/s)	P _{out} (W)	η_T (%)
	(volt)	(A)												
1	2,2	0,27	50,80	0,001	176	0,042	21668,15	3,54 X10 ⁻⁶	1,57	3,55	0,14	1,728	0,594	34,37
2	2,2	0,29	50,72	0,001	177	0,042	21640,45	3,55 X10 ⁻⁶	1,57	3,54	0,14	1,728	0,638	36,91
3	2,2	0,29	50,56	0,001	177	0,042	21585,27	3,56 X10 ⁻⁶	1,57	3,54	0,17	1,729	0,638	36,91
4	2,2	0,29	50,45	0,001	177	0,042	21546,02	3,57 X10 ⁻⁶	1,56	3,53	0,17	1,729	0,638	36,91
5	2,3	0,29	50,31	0,001	177	0,042	21495,21	3,58 X10 ⁻⁶	1,56	3,53	0,18	1,729	0,667	38,58



Lampiran 5 Dokumentasi Foto Kegiatan



Proses pembuatan rangka *waste water pit*



Proses pembuatan sudu turbin dan kaki kerangka waste water pit



Pembuatan waste water pit



Proses penyempurnaan *waste water pit*

Lampiran 6. Tabel Spesifik Air

Tabel Viskositas Kinematik (ϑ)

Temperature	Dynamic viscosity			Kinematic viscosity
	[°C]	[Pa s], [N s/m ²]	[cP], [mPa s]	[lbf s/ft ² *10 ⁻⁵]
0.01	0.0017914	1.79140	3.7414	1.7918
10	0.0013060	1.30600	2.7276	1.3065
20	0.0010016	1.00160	2.0919	1.0035
25	0.0008900	0.89004	1.8589	0.8927
30	0.0007972	0.79722	1.6650	0.8007
40	0.0006527	0.65272	1.3632	0.6579
50	0.0005465	0.54650	1.1414	0.5531
60	0.0004660	0.46602	0.9733	0.4740
70	0.0004035	0.40353	0.8428	0.4127
80	0.0003540	0.35404	0.7394	0.3643
90	0.0003142	0.31417	0.6562	0.3255
100	0.0002816	0.28158	0.5881	0.2938
110	0.0002546	0.25461	0.5318	0.2677
120	0.0002320	0.23203	0.4846	0.2460
140	0.0001966	0.19664	0.4107	0.2123
160	0.0001704	0.17043	0.3559	0.1878
180	0.0001504	0.15038	0.3141	0.1695
200	0.0001346	0.13458	0.2811	0.1556
220	0.0001218	0.12177	0.2543	0.1449
240	0.0001111	0.11106	0.2320	0.1365
260	0.0001018	0.10181	0.2126	0.1299
280	0.0000936	0.09355	0.1954	0.1247
300	0.0000859	0.08586	0.1793	0.1206
320	0.0000783	0.07831	0.1636	0.1174
340	0.0000703	0.07033	0.1469	0.1152
360	0.0000603	0.06031	0.1260	0.1143

Tabel Kapasitas Panas (C_p)

Temperature [°C]	Isochoric Heat Capacity (C_v)				Isobaric Heat Capacity (C_p)			
	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb _m °F]	[J/(mol K)]	[kJ/(kg K)]	[kWh/(kg K)]	[kcal/(kg K)] [Btu(IT)/lb _m °F]
10	75.505	4.1910	0.001164	1.0010	75.586	4.1955	0.001165	1.0021
20	74.893	4.1570	0.001155	0.9929	75.386	4.1844	0.001162	0.9994
25	74.548	4.1379	0.001149	0.9883	75.336	4.1816	0.001162	0.9988
30	74.181	4.1175	0.001144	0.9834	75.309	4.1801	0.001161	0.9984
40	73.392	4.0737	0.001132	0.9730	75.300	4.1796	0.001161	0.9983
50	72.540	4.0264	0.001118	0.9617	75.334	4.1815	0.001162	0.9987
60	71.644	3.9767	0.001105	0.9498	75.399	4.1851	0.001163	0.9996
70	70.716	3.9252	0.001090	0.9375	75.491	4.1902	0.001164	1.0008
80	69.774	3.8729	0.001076	0.9250	75.611	4.1969	0.001166	1.0024
90	68.828	3.8204	0.001061	0.9125	75.763	4.2053	0.001168	1.0044
100	67.888	3.7682	0.001047	0.9000	75.950	4.2157	0.001171	1.0069
110	66.960	3.7167	0.001032	0.8877	76.177	4.2283	0.001175	1.0099
120	66.050	3.6662	0.001018	0.8757	76.451	4.2435	0.001179	1.0135
140	64.306	3.5694	0.000992	0.8525	77.155	4.2826	0.001190	1.0229
160	62.674	3.4788	0.000966	0.8309	78.107	4.3354	0.001204	1.0355
180	61.163	3.3949	0.000943	0.8109	79.360	4.4050	0.001224	1.0521

Tabel Massa jenis (ρ)

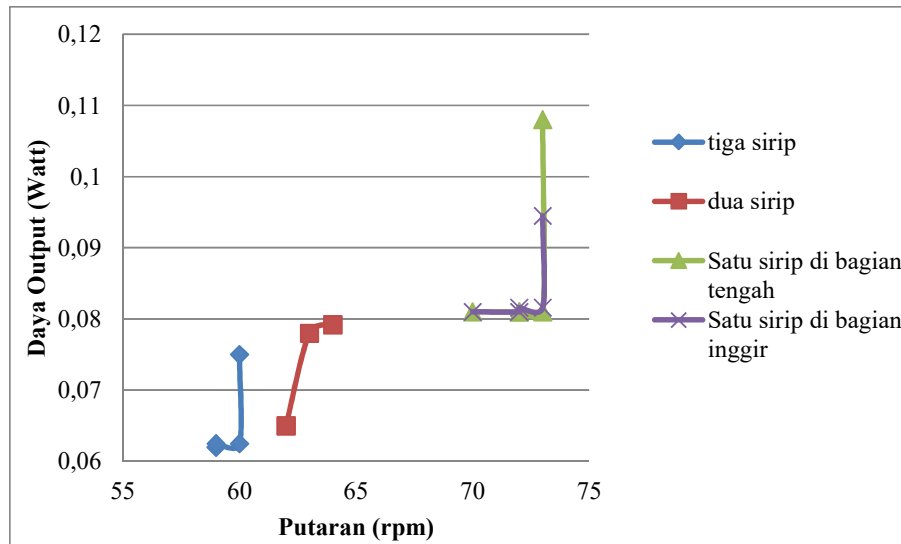
Temperature	Density					Specific weight		Thermal expansion coefficient
	[°C]	[g/cm ³]	[kg/m ³]	[sl/ft ³]	[lb _m /ft ³]	[lb _m /gal(US liq)]	[kN/m ³]	
10	0.9997000	999.70	1.9397	62.4094	8.3429	9.8037	62.409	0.88
20	0.9982067	998.21	1.9368	62.3160	8.3304	9.7891	62.316	2.07
25	0.9970470	997.05	1.9346	62.2436	8.3208	9.7777	62.244	2.57
30	0.9956488	995.65	1.9319	62.1563	8.3091	9.7640	62.156	3.03
35	0.9940326	994.03	1.9287	62.0554	8.2956	9.7481	62.055	3.45
40	0.9922152	992.22	1.9252	61.9420	8.2804	9.7303	61.942	3.84
45	0.99021	990.21	1.9213	61.8168	8.2637	9.7106	61.817	4.20
50	0.98804	988.04	1.9171	61.6813	8.2456	9.6894	61.681	4.54
55	0.98569	985.69	1.9126	61.5346	8.2260	9.6663	61.535	4.86
60	0.98320	983.20	1.9077	61.3792	8.2052	9.6419	61.379	5.16



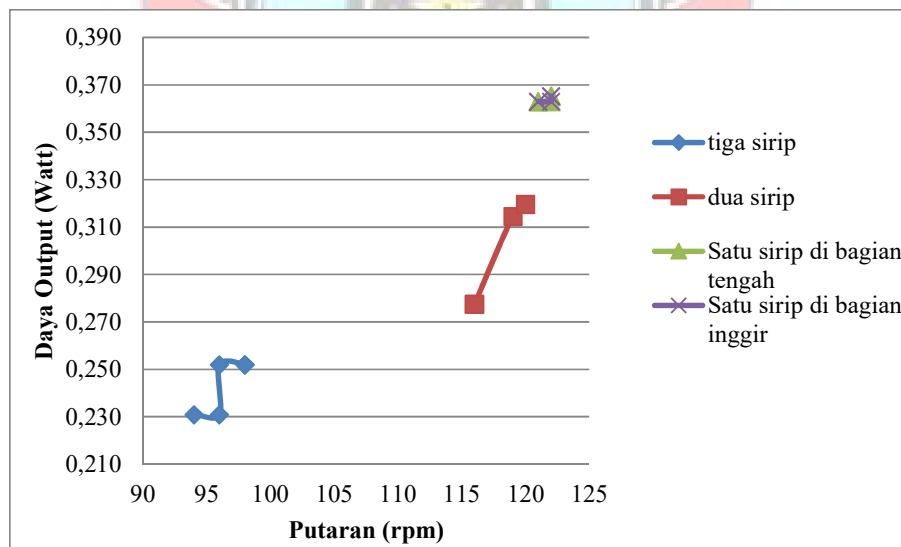
Tabel Konduktivitas termal (K)

State of water	Temperature	Thermal conductivity		
	[°C]	[mW/m K]	[kcal(IT)/(h m K)]	[Btu(IT)/(h ft °F)]
Liquid	0.01	555.75	0.4779	0.3211
	10	578.64	0.4975	0.3343
	20	598.03	0.5142	0.3455
	30	614.50	0.5284	0.3551
	40	628.56	0.5405	0.3632
	50	640.60	0.5508	0.3701
	60	650.91	0.5597	0.3761
	70	659.69	0.5672	0.3812
	80	667.02	0.5735	0.3854
	90	672.88	0.5786	0.3888
	99.6	677.03	0.5821	0.3912
	Gas	100	24.57	0.0211
125		26.66	0.0229	0.0154
150		28.83	0.0248	0.0167
175		31.09	0.0267	0.0180
200		33.43	0.0287	0.0193
225		35.85	0.0308	0.0207
250		38.34	0.0330	0.0222
275		40.91	0.0352	0.0236
300		43.53	0.0374	0.0252
350		48.98	0.0421	0.0283
400		54.65	0.0470	0.0316
450		60.52	0.0520	0.0350
500		66.58	0.0573	0.0385
550		72.81	0.0626	0.0421
600		79.17	0.0681	0.0457
700		92.28	0.0794	0.0533
800		105.81	0.0910	0.0611
900	119.67	0.1029	0.0691	

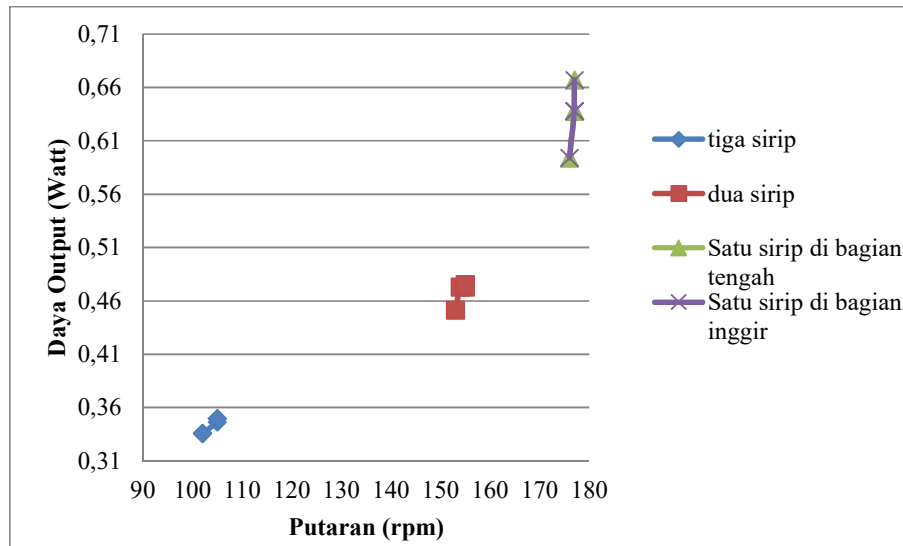
Lampiran 7. Grafik pengujian menggunakan turbin roda air dengan menggunakan debit yang konstan dengan variasi sirip.



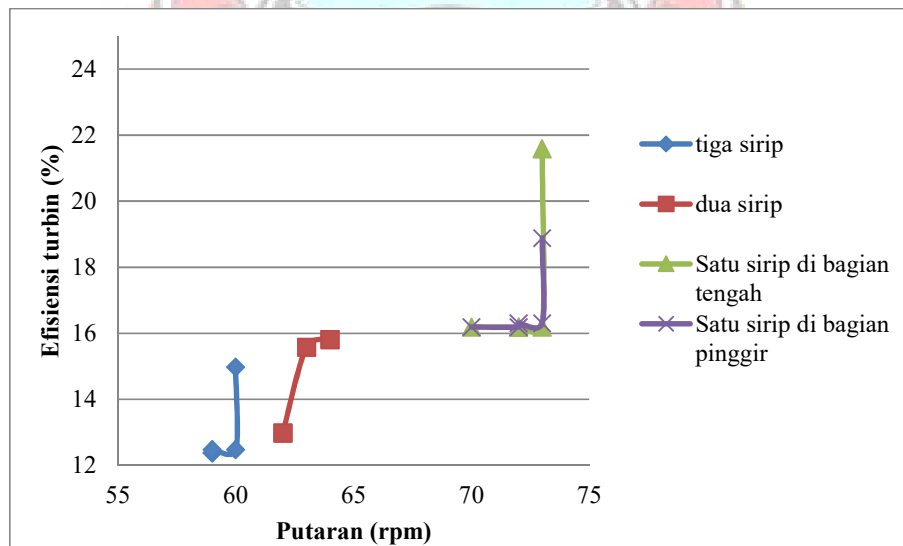
Hubungan antara daya ouput (p) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip (Q = 38 lt/mnt).



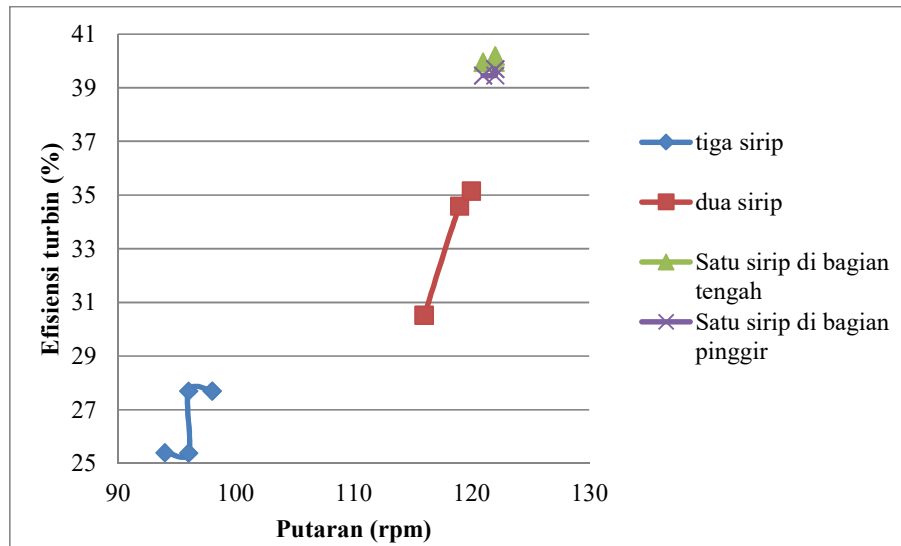
Hubungan antara daya ouput (p) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip (Q = 48 lt/mnt).



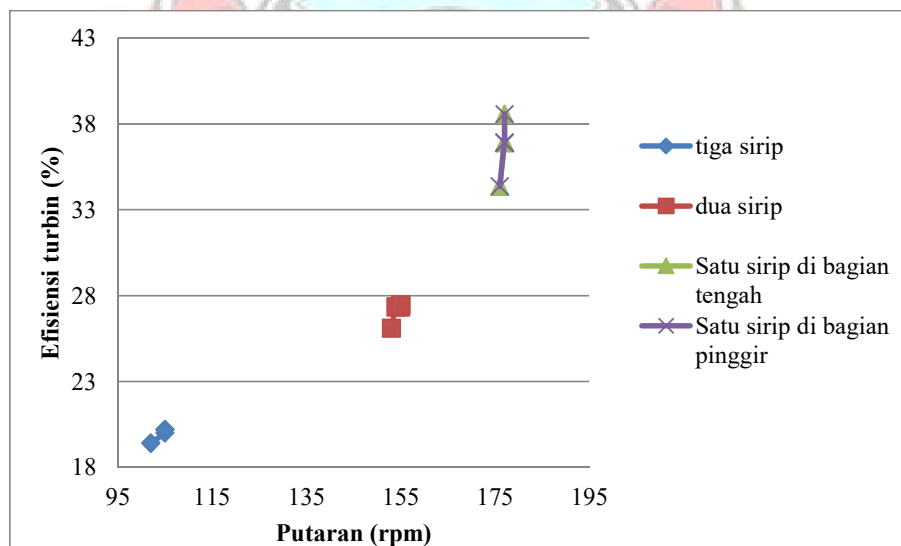
Hubungan antara daya ouput (p) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip (Q = 60 lt/mnt).



Hubungan antara Efisiensi turbin (η_T) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip (Q = 38 lt/mnt).



Hubungan antara Efisiensi turbin (η_T) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip ($Q = 48$ lt/mnt).



Hubungan antara Efisiensi turbin (η_T) dengan putaran (n) pada pengujian menggunakan roda air dengan variasi sirip ($Q = 60$ lt/mnt).