

RANCANG BANGUN PLTPH MENGGUNAKAN *BOOSTER*

PUMP SEBAGAI PENAMBAH TEKANAN AIR



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Sains

Terapan pada Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh

MUH. FAJAR RAFSANJANI 44219016

RONALDO OKTOVIANUS PADEMME 44219020

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2023

HALAMAN PENGESAHAN

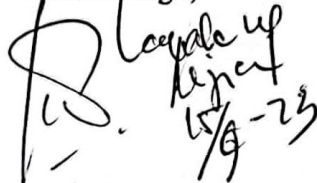
Skripsi dengan judul **Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air** oleh Muh. Fajar Rafsanjani NIM 442 19 016 dan Ronaldo Oktovianus Pademme NIM 4421 19 020 dinyatakan layak untuk diterima.

Makassar, Agustus

2023

Menyetujui,

Pembimbing I,



Ir. Laode Musa, M.T.
NIP. 19601231 199003 1 021

Pembimbing II,



Ir. Herman, M.T.
NIP. 19580606 198903 1 101

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
Teknik Pembangkit Energi



Ir. Chandra Bhuana, M.T.

NIP. 19650319 199103 1 001

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, _____, Tim Penguji Ujian Sidang Skripsi telah menerima dengan baik skripsi oleh mahasiswa: Muh. Fajar Rafsanjani NIM 442 19 016 dan Ronaldo Oktovianus Pademme NIM 4421 19 020 dengan judul “Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air”.

Makassar,

2023

Tim Penguji Ujian Skripsi :

- | | | | |
|----|-----------------------------------|---------------|---|
| 1. | Prof. Dr. Ir. Firman, M.T. | Ketua | () |
| 2. | Sukma Abadi, S.T.,M.T. | Sekretaris | () |
| 3. | Ir. Chandra Bhuana, M.T. | Anggota | () |
| 4. | Prof. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | Anggota | () |
| 5. | Ir. Laode Musa, M.T. | Pembimbing I | () |
| 6. | Ir. Herman, M.T. | Pembimbing II | () |

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Fajar Rafsanjani

NIM : 442 19 016

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data 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 saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ronaldo Oktovianus Pademme

NIM : 442 19 020

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul “Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data 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 saya tersebut diatas tidak benar, saya siap menanggung risiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar,

2023



Ronaldo Oktovianus Pademme
NIM 442 19 020

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan anugerah-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air**”

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu kredit yang harus dilulusi oleh mahasiswa pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Dalam penulisan Tugas akhir ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan, saran dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa karena berkat karunianya penulis di beri kesehatan dan kelancaran sehingga dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua juga keluarga penulis yang telah meberikan motivasi dan dukungan baik materi dan juga doa.
3. Bapak Ir. Ilyas Mansur, M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Dr. Ir. Syaharuddin Rasyid, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang
5. Bapak Ir. Chandra Buana, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ir. Laode Musa, M.T. selaku Pembimbing I.
7. Bapak Ir. Herman Nawir, M.T. selaku Pembimbing II.

8. Seluruh dosen dan karyawan Politeknik Negeri Ujung Pandang.
9. Rekan-rekan Angkatan 2019 Teknik Pembangkit Energi yang saling memberikan semangat dan dukungan.
10. Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan dukungan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis meminta maaf kepada seluruh pihak bilamana terdapat kesalahan penulisan yang kurang berkenan dihati.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi diri penulis sendiri, pembaca dan khususnya mahasiswa D4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 2023

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
SURAT PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
RINGKASAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Ruang Lingkup.....	4
1.4 Tujuan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro	8
2.3 Turbin Air	12
2.4 Turbin Pelton.....	13
2.5 Transmisi Putaran Turbin Ke Generator	13
2.6 Generator DC	14
2.7 Pompa.....	15
2.7.1 <i>Booster Pump</i>	16

2.7.2	Pompa Jet	17
2.8	Baterai/Aki	18
BAB III METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN.....		19
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3	Prosedur/Langkah Kerja.....	20
3.3.1	Prosedur Penelitian.....	20
3.3.2	Proses dan Prinsip Kerja Sistem Uji	22
3.3.3	Proses Perakitan	23
3.3.4	Rangkaian Instalasi	25
3.4	Langkah-Langkah Pengujian Alat.....	26
3.5	Teknik Analisis Data.....	27
3.6	Metode Analisis Data.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		28
4.1	Hasil Pengujian PLTPH Tanpa Booster dan dengan Booster.....	28
4.1.1	Pengujian Tanpa Pompa <i>Booster</i>	29
4.1.2	Pengujian Menggunakan Pompa <i>Booster</i>	29
4.2	Analisis Data	30
4.2.1	Pengujian tanpa pompa <i>booster</i> variasi bukaan katup 100%.	30
4.2.2	Pengujian dengan menggunakan pompa <i>booster</i> variasi bukaan 100%.....	32
4.3	Tabel Hasil Analisis Data.....	34
4.4	Grafik	37
4.4.1	Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	37
4.4.2	Grafik hubungan daya output listrik terhadap arus pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	38
4.4.3	Grafik hubungan daya output listrik terhadap putaran turbin pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	39

4.4.4	Grafik hubungan daya output listrik terhadap efisiensi sistem pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	40
4.4.5	Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi menggunakan pompa <i>booster</i>	41
4.4.6	Grafik hubungan daya output listrik terhadap arus pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	42
4.4.7	Grafik hubungan daya output listrik terhadap putaran turbin pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	43
4.4.8	Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i>	44
4.4.9	Grafik hubungan daya output listrik terhadap bukaan katup pada kondisi menggunakan dan tidak menggunakan pompa <i>booster</i> pada beban 1 lampu.....	45
4.4.10	Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa <i>booster</i> pada beban 2 lampu	46
4.4.11	Grafik hubungan daya output listrik terhadap daya input listrik pada kondisi bukaan katup 100%.....	48
BAB V PENUTUP.....		50
5.1	Kesimpulan	50
5.2	Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	8
Gambar 2. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro.....	9
Gambar 2. 3 Turbin Air.....	12
Gambar 2. 4 Transmisi V belt dan Puli.....	14
Gambar 2. 5 Generator DC.....	14
Gambar 2. 6 Pompa Booster.....	16
Gambar 2. 7 Spesifikasi Pompa Booster.....	16
Gambar 2. 8 Pompa jet.....	17
Gambar 2. 9 Spesifikasi Pompa Jet.....	17
Gambar 2. 10 Baterai/Aki.....	18
Gambar 3. 1 Diagram alir proses perancangan PLTPH menggunakan Booster pump sebagai penambah tekanan air.....	21
Gambar 3. 2 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi.....	22
Gambar 3. 3 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Samping.....	23
Gambar 3. 4 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Atas.....	24
Gambar 3. 5 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Depan.....	24
Gambar 3. 6 Rangkaian Alat Uji Tanpa Booster.....	25
Gambar 3. 7 Rangkaian Alat Uji Menggunakan Booster.....	26
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Tegangan pada kondisi tanpa Booster.....	37
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Arus pada kondisi tanpa Booster.....	38

Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Putaran Turbin pada kondisi tanpa Booster	39
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan antara Efisiensi Sistem dengan Daya Output Listrik pada kondisi tanpa Booster.....	40
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Tegangan pada kondisi menggunakan Booster	41
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Arus pada kondisi menggunakan Booster.....	42
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Putaran Turbin pada kondisi menggunakan Booster.....	43
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan antara Efisiensi Sistem dengan Daya Output Listrik pada kondisi menggunakan Booster.....	44
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan antara Bukaannya Katup dengan Daya Output Listrik pada Beban 1 Lampu.....	45
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara Bukaannya Katup dengan Daya Output Listrik pada Beban 2 Lampu.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Spesifikasi Generator DC.....	15
Tabel 4. 1	Data hasil pengujian dengan bukaan katup 100%.....	29
Tabel 4. 2	Data hasil pengujian dengan bukaan katup 100%.....	29
Tabel 4. 3	Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa <i>Booster</i> dengan bukaan katup 100%	34
Tabel 4. 4	Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa <i>Booster</i> dengan bukaan katup 75%	34
Tabel 4. 5	Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa <i>Booster</i> dengan bukaan katup 50%	34
Tabel 4. 6	Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa <i>Booster</i> dengan bukaan katup 25%	34
Tabel 4. 7	Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa <i>Booster</i> bukaan katup 100%	35
Tabel 4. 8	Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa <i>Booster</i> bukaan katup 75%	35
Tabel 4. 9	Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa <i>Booster</i> bukaan katup 50%	36
Tabel 4. 10	Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa <i>Booster</i> bukaan katup 25%	36

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Satuan	Keterangan
Q	m^3/s	Debit
A	m^2	Luas Penampang
V	Volt	Tegangan
I	Ampere	Arus
V	m^3	Volume
T	s	Waktu
H	M	Tinggi Jatuh Air
ρ_{air}	kg/m^3	Massa Jenis Air
P_g	Watt	Daya Generator
P_{air}	Watt	Daya Hidrolik
D	M	Diameter
G	m/s^2	Gravitasi
M	Kg	Massa air
V	m/s	Kecepatan aliran air

RANCANG BANGUN PLTPH MENGGUNAKAN *BOOSTER PUMP* SEBAGAI PENAMBAH TEKANAN AIR

RINGKASAN

Energi yang dibutuhkan semakin meningkat seiring berjalannya waktu karena energi merupakan faktor yang sangat penting untuk perkembangan dan kemajuan zaman. Oleh karena itu, dibutuhkan suplai energi dari berbagai jenis dan wilayah yang memiliki potensi energi. Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai penggerak turbin berskala kecil agar menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan mengukur tekanan air dalam *nozzle*, volume bak penampung, putaran turbin, putaran generator, waktu, tegangan dan arus pada PLTPH, baik yang menggunakan dan tidak menggunakan pompa *booster*.

Penelitian dilakukan dengan mengatur variasi bukaan katup dan variasi beban lampu, kemudian dilakukan pengukuran dengan alat ukur tachometer, amperemeter, voltmeter, barometer, dan stopwatch.

Dari hasil penelitian, besarnya tekanan dan debit air akan mempengaruhi besar tegangan, arus, serta daya keluaran generator, contohnya pada kondisi tidak menggunakan pompa *booster* untuk bukaan katup 100% dan pada beban lampu 1 bohlam, dihasilkan debit air sebesar 4.627×10^{-4} , tekanan dalam *nozzle* sebesar 2 bar, tegangan rata-rata sebesar 12 volt, arus rata-rata sebesar 0.25 ampere dan daya keluaran sebesar 3 watt. Pada kondisi lainnya, yaitu pengujian dengan menggunakan pompa *booster* untuk bukaan katup 100% dan pada beban lampu 1 bohlam, dihasilkan debit air sebesar 5.18×10^{-4} dan tekanan dalam *nozzle* sebesar 3.2 bar, tegangan rata-rata sebesar 14.33 volt, arus rata-rata sebesar 0.46 ampere dan daya keluaran sebesar 6.59 watt.

Kata Kunci: Pompa *Booster*, Baterai, Turbin, Generator

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi yang dibutuhkan semakin meningkat seiring berjalannya waktu karena energi merupakan faktor yang sangat penting untuk perkembangan dan kemajuan zaman. Oleh karena itu, dibutuhkan suplai energi dari berbagai jenis dan wilayah yang memiliki potensi energi.

Indonesia sampai saat ini masih banyak bertumpu pada suplai listrik yang berasal dari energi fosil untuk menyuplai energi yang dibutuhkan. Sementara seperti yang diketahui, bahwa energi fosil merupakan energi yang tidak dapat digunakan secara berulang. Setiap tahunnya, energi fosil akan digunakan dalam berbagai hal baik itu bahan bakar maupun sebagai sumber energi. Dengan kondisi ini, energi fosil pada akhirnya akan habis karena kebutuhan energi yang terus meningkat. Oleh karena itu, lebih diharapkan menggunakan energi alam yang terbarukan. Misalnya energi panas bumi, energi air, energi pasang surut, energi angin dan energi matahari. Karena energi terbarukan relatif mudah didapat, ramah lingkungan dan dapat digunakan kembali dibandingkan dengan energi fosil.

Energi air merupakan sumber energi terbarukan dengan memanfaatkan air sebagai sumber energi. Pemanfaatan air ini sebenarnya sudah lama dilakukan, hanya saja dilupakan dikarenakan adanya bahan bakar fosil. Tenaga air yang diekstraksi dari air yang mengalir dapat dimanfaatkan dan digunakan untuk menghasilkan energi mekanik dan energi listrik. Pemanfaatan energi air terutama

dilakukan dengan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan keberadaan air terjun atau aliran air di sungai.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi yang melimpah. Hal ini dikarenakan wilayah Indonesia yang beriklim tropis dengan curah hujan tinggi dan topografi pegunungan yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik. Namun tidak semua daerah memiliki potensi energi air dengan debit air dan tinggi jatuh yang memadai untuk pembangunan pembangkit energi air berskala besar. Oleh karena itu, pembangkit energi air ini di kembangkan menjadi pembangkit listrik skala *mikro*, *mini*, dan juga *pico*. Klasifikasi jenis pembangkit listrik tenaga air ini, didasarkan pada debit dan jumlah air yang diperlukan untuk memanfaatkan pembangkit tersebut.

Pembangkit listrik tenaga *picohydro* adalah pembangkit yang sering digunakan oleh masyarakat yang tinggal di wilayah terpencil, karena pembangkit listrik tenaga *picohydro* membutuhkan debit air dan tinggi jatuh yang rendah untuk beroperasi. Namun dengan menggunakan sumber debit air yang kecil dan tinggi air yang relatif rendah juga berarti energi listrik yang dihasilkan relatif kecil pula, hal ini dikarenakan debit air dan juga tinggi jatuh mempengaruhi jumlah dayanya.

Penelitian PLTPH sebelumnya telah dilakukan oleh Mhd Ajuar Zain (2019) yang meneliti dengan melakukan Perancangan PLTPH dengan menggunakan *mini water pump*. Keistimewaan dari penelitian tersebut ialah penggunaan *mini water pump* sebagai penggerak air untuk memutar sudu-sudu turbin. Dari penelitian tersebut dihasilkan tegangan output sebesar 40,25V pada putaran awal untuk bukaan *spray* 0 cm, putaran berikutnya yaitu putaran menengah untuk bukaan

spray 2 cm menghasilkan tegangan output sebesar 39,50V, dan putaran rendah untuk bukaan *spray* 4cm menghasilkan tegangan output sebesar 27,90V dengan posisi pada hasil tegangan output yang dihasilkan belum di terbebani dan tegangan supply dari baterai untuk menghidupkan mini water pump masih diatas 12V.

Penelitian lainnya telah dilakukan oleh Joy E Sitayani & Lovejuwantri Batu Pagallaran (2022) yang merancangan PLTPH dengan memfokuskan pada perancangan turbin air yang digunakan. Keistimewaan dari penelitian tersebut terletak pada pemanfaatan pipa elbow 90° sebagai sudu-sudu turbin untuk menghasilkan turbin dengan diameter sudu yang berbeda. Sudu sudu yang terbuat dari pipa elbow dipasang pada piringan dan membentuk runner turbin. Dari penelitian tersebut diketahui daya output terendah dihasilkan oleh turbin dengan diameter sudu ½ inch yang bernilai 1,350 watt, sedangkan daya output tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan diameter sudu ¾ inch yang bernilai 2,765 watt.

Penelitian mengenai pemanfaatan *Booster pump* pada PLTPH masih jarang dilakukan sehingga masih perlu dilakukan studi eksperimental untuk mengetahui sistem kerjanya. Pada kesempatan ini, peneliti melakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul **“Rancang Bangun PLTPH Menggunakan *Booster Pump* Sebagai Penambah Tekanan Air”** dan melakukan perancangan PLTPH untuk dapat mengetahui prinsip kerja dari PLTPH yang di rancang dengan perancangan alat yang bisa di jadikan bahan referensi penelitian tentang sistem kerja dari PLTPH. Untuk sumber penggerak turbin di rancang dengan menggunakan *Jet Pump* yang di suplay dengan sumber tegangan AC 220V dan *Booster Pump* dengan sumber

tegangannya menggunakan baterai/aki 12V sehingga dapat menghasilkan tekanan lebih untuk menggerakkan turbin air pada rancangan sistem.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas maka akan dapat permasalahan yang akan menjadi pembahasan di dalam, yaitu :

1. Bagaimana kinerja PLTPH sebelum dan sesudah menambahkan *Booster pump* sebagai penambah tekanan air?
2. Bagaimana analisa data hasil pengujian PLTPH sebelum dan sesudah menambahkan pompa *booster* sebagai penambah tekanan air?
3. Bagaimana pengaruh pompa *booster* terhadap daya yang dibangkitkan PLTPH?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan air sebagai penggerak turbin.
2. Turbin yang digunakan adalah turbin impuls dengan acuan turbin pelton
3. *Booster pump* digunakan sebagai penambah tekanan air.
4. Penelitian yang dilakukan adalah penelitian skala laboratorium.

1.4 Tujuan Masalah

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui kinerja PLTPH sebelum dan sesudah menambahkan pompa *booster* sebagai penambah tekanan air.
2. Menganalisa data hasil pengujian PLTPH sebelum dan sesudah menambahkan pompa *booster* sebagai penambah tekanan air
3. Menganalisis seberapa besar pengaruh pompa *booster* terhadap daya yang dibangkitkan PLTPH.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat penelitian yang akan dicapai berdasarkan tujuan penelitian adalah untuk dapat menerapkan dan mengembangkan ilmu yang diperoleh dibangku kuliah umumnya di bidang pembangkit listrik tenaga air dan khususnya di pembangkit listrik tenaga pikohidro. Selain itu, sebagai referensi bagi penelitian pembangkit listrik tenaga pikohidro kedepannya dan menjadi salah satu upaya dalam pemanfaatan potensi energi air di indonesia sebagai energi terbarukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah suatu pembangkit yang menggunakan air sebagai penghasil energi listrik.

Pada tahun 2022, Potensi Tenaga Air (PLTA) Indonesia diperkirakan mencapai 94,6 Gw (Gigawatt) yang merupakan aset yang harus dimanfaatkan, untuk membantu memasok kebutuhan energi dalam negeri. (Adi Ahdiat. 2023. databoks.co.id, 23 Februari 2023).

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat menghasilkan energi listrik dengan cara mengubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik turbin, energi mekanik tersebut dimanfaatkan untuk memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Energi potensial merupakan energi yang dimiliki benda akibat adanya pengaruh tempat atau pengaruh kedudukan dari benda tersebut. Energi potensial disebut juga dengan energi diam sebab benda yang dalam keadaan diam dapat memiliki energi. Apabila benda tersebut bergerak maka benda itu mengalami perubahan energi potensial menjadi energi gerak, seperti buah kelapa yang siap jatuh dari pohonnya. Dalam kasus PLTA sendiri, besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluaran turbin air. Total energi yang tersedia dari suatu reservoir air adalah merupakan energi potensial air

Energi kinetik adalah energi dari suatu benda yang dimiliki karena pengaruh gerakannya. Makin besar kecepatan benda bergerak makin besar energi kinetiknya dan semakin besar massa benda yang bergerak makin besar pula energi kinetik yang dimilikinya. Setiap benda yang bergerak memberikan gaya pada benda lain dan memindahkannya sejauh jarak tertentu. Benda yang bergerak memiliki kemampuan untuk melakukan kerja, karenanya dapat dikatakan memiliki energi dengan demikian, kita dapat menyimpulkan bahwa energi kinetik merupakan energi yang dimiliki benda karena gerakannya atau kecepatannya.

Energi mekanik, secara sederhana, dapat diartikan sebagai jumlah antara energi potensial dan energi kinetik pada suatu benda ketika melakukan usaha. Hal ini berarti, energi mekanik adalah energi suatu benda yang disebabkan karena gerakan, posisi atau kedua-duanya.

Berdasarkan besar kapasitasnya pembangkit listrik tenaga air itu sendiri dibagi menjadi 6 jenis (Alief rakhman. 2021. Rakhman.net, 11 Januari 2021) diantaranya:

1. Large-Hydro Lebih dari 100MW
2. Medium-Hydro 15 – 100 MW
3. Small-Hydro 1 – 15 MW
4. Mini-Hydro 100 kW – 1 MW
5. Micro-Hydro Hingga 5 - 100 kW
6. Pico-Hydro Dibawah 5kW



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Air
(Sumber: dunia-energi.com)

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro

Pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan pembangkit yang memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang mengalir melalui saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.

Pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan keluaran daya listrik tidak lebih dari 5 kW. PLTPH memiliki keuntungan tersendiri diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Jauh lebih mudah mengkonversi energi dari aliran air yang jatuh bebas daripada aliran air yang bergelombang.
2. Banyak konsumen listrik tinggal atau bekerja di dekat irigasi dan sungai.

3. Koneksi ke jaringan listrik dan pemeliharaan lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan dengan pembangkit listrik yang beroperasi pada arus gelombang dan pasang surut.
4. Lingkungan irigasi dan sungai jauh lebih bersahabat dengan pembangkit listrik tenaga air khususnya pada peralatan yang digunakan daripada laut.
5. Arah dan kecepatan pada air yang bergelombang bervariasi, sedangkan aliran sungai searah dan biasanya tidak berubah banyak dalam kecepatan. Ini juga membuat teknologi sungai tidak terlalu rumit.



Gambar 2. 2 Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro
(Sumber: deliknews.com)

Daya yang dapat dibangkitkan PLTPH tergantung dari besarnya debit air sungai dan tingginya air terjun. Debit air yang digunakan sebagai debit awal adalah debit minimal dari sumber air yang akan digunakan, dimana sepanjang tahunnya digunakan debit minimal dan debit maksimal. Tinggi jatuhnya air tergantung pada kondisi geografis tempat dibangunnya PLTPH tersebut. Energi air inilah yang dapat

menggerakkan turbin dan memutar generator penghasil tegangan, (Joy E Sitayani & Lovejuwantri Batu Pagallaran, 2022).

Tinggi jatuhnya air dinyatakan dalam persamaan:

$$H = P \times 10,13 \text{ mH}_2\text{O} \dots\dots\dots (2. 1)$$

Keterangan :

H = Tinggi Jatuh Air (m)

P = Tekanan (Bar)

Efisiensi sistem yang dibangkitkan tergantung pada daya output generator dan daya input air, efisiensi sistem sendiri merupakan perbandingan antara daya output generator dengan daya input air. Kedua variable tersebut diketahui setelah menghitung debit air yang digunakan.

Efisiensi sistem dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_s = \frac{P_{in}}{P_{out}} \dots\dots\dots (2. 2)$$

Keterangan :

η_s = Efisiensi sistem (%)

P_{in} = Daya input air (watt)

P_{out} = Daya output generator (watt)

Debit aliran adalah volume air yang mengalir dalam satuan yang merupakan laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu. Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur luas penampang, kecepatan aliran, dan tinggi muka air.

Debit aliran dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q = Vol \times t \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

Q = Debit (m³/s)

Vol = Volume wadah (m³/s)

t = Waktu (s)

Pengambilan data debit dilakukan dengan cara menampung air di volume wadah tertentu dan kemudian dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk wadah terisi penuh.

Fauziyah Nur (2019) dalam skripsi “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Turbin *Cross Flow* Menggunakan Generato Dc Magnet Permanen” menyatakan bahwa daya output air dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P_{in} = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

P_{in} = daya hidrolik (Watt)

ρ = kerapatan masa air = 1000 kg/m³

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/det²

Q = debit (m³/det)

H = tinggi air jatuh (m)

2.3 Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik.



Gambar 2. 3 Turbin Air
(Sumber: Prototipe Turbin Air Pelton)

Pemilihan jenis turbin juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi performa sebuah pembangkit listrik tenaga air. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi (Joy E Sitayani & Lovejuwantri Batu Pagallaran, 2022: 7).

2.4 Turbin Pelton

Turbin Pelton merupakan salah satu dari jenis turbin air khususnya turbin impuls yang paling efisien jika dibandingkan dengan turbin implus lainnya. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu atau runner yang diputar oleh semburan air.

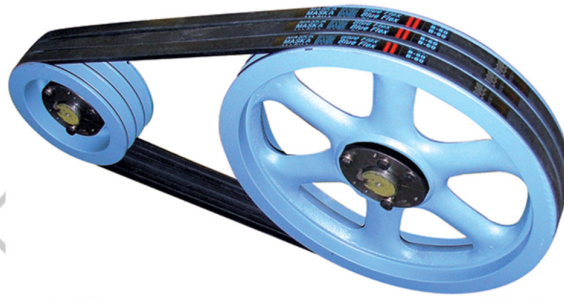
Sunarto Edi dan Eisenring M (2000) dalam skripsi Achmad Afrizal Iskandar dan Muh Try Fadel Kahar (2014:7) menyatakan bahwa turbin pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan (jet) air dengan kecepatan tinggi mengenai bucket runner dan menggerakkan runner air keluar pada kecepatan rendah, yang berarti sebagian energinya tidak diserap oleh runner. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin pelton adalah contoh terbaik dari turbin impuls yang dioperasikan oleh satu atau lebih jet (nosel) air yang masuk ke center bucket pada sekeliling parameter dari runner. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk buckets sehingga diberi nama impuls turbin.

Dari kutipan-kutipan diatas dapat disimpulkan bahwa turbin pelton merupakan jenis turbin impuls yang paling efisien yang memanfaatkan pancaran air bertekanan dari nosel untuk menabrak bucket runner (sudu-sudu turbin) yang disusun teratur dengan tujuan untuk memutar turbin.

2.5 Transmisi Putaran Turbin Ke Generator

Untuk menghasilkan energi listrik, energi mekanik berupa putaran turbin harus dikirim ke poros generator sehingga bagian rotor generator berputar pada kecepatan yang diinginkan. Proses pengiriman energi mekanik dari turbin ke generator

memerlukan media transmisi bisa berupa penggerak langsung, gearbox, V belt dan puli, chain dan sprocket, flat belt dan puli.



Gambar 2. 4 Transmisi V belt dan Puli
(Sumber: Youtube)

2.6 Generator DC

Generator DC merupakan alat yang menghasilkan energi listrik searah dari sumber energi mekanik.



Gambar 2. 5 Generator DC

Tabel 2. 1 Spesifikasi Generator DC

Spesifikasi	Satuan
Tegangan	100 V
Arus	58 A
Putaran	800 rpm

Fauziyah Nur (2019) dalam skripsi “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Turbin *Cross Flow* Menggunakan Generato Dc Magnet Permanen” menyatakan bahwa jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring, maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan sebuah komutator, maka akan dihasilkan daya output Dc.

Daya output Dc dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$P_{out} = V \times I \dots\dots\dots(2. 5)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya Output Generator (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.7 Pompa

Pompa adalah suatu alat mekanis yang digunakan untuk memindahkan fluida cair dari suatu tempat ke tempat lain, melalui suatu media pipa dengan cara

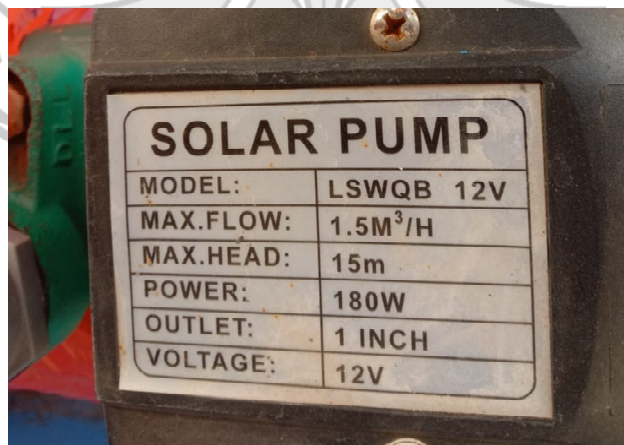
menambahkan energi pada fluida cair tersebut secara terus menerus. Energi tersebut digunakan untuk mengatasi hambatan-hambatan aliran. Hambatan aliran sendiri, dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau gesekan.

2.7.1 *Booster Pump*

Booster pump merupakan pompa yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan pada fluida kerja (air) secara langsung dengan menggunakan gaya sentrifugal dan satu/lebih impeller untuk memompa fluida.



Gambar 2. 6 Pompa *Booster*



Gambar 2. 7 Spesifikasi Pompa *Booster*

2.7.2 Pompa Jet

Pompa jet merupakan salah satu jenis pompa dinamik yang memiliki prinsip kerja dimana sistem utama yang diterapkan pada jet pump adalah sistem ejector. Pada intinya, sistem ini menghasilkan perubahan tekanan yang kemudian akan mengangkat air dari bawah menuju atas.



Gambar 2. 8 Pompa jet

POMPA AIR LISTRIK OTOMATIS SUMUR DALAM		
MODEL		PC-375 BIT
U : 1 x 220 V~	50 Hz	Pipa Hisap : 32mm (1 1/4")
20 μ F / 450 V~	I : 2.9 A	Pipa Tekan : 25mm (1")
n : 2900 min ⁻¹	IPX4	Pipa Dorong: 25mm (1")
H (meter) : 44 - 32		Q (l/min) : 11 - 25
Temperatur Air : Maks.40 °C		
Pressure Switch	on	1.4 kgf/cm ²
	off	2.8 kgf/cm ²
Motor Dilengkapi Thermal Protector		
MADE IN INDONESIA		
		 PCS 00046.01
		 G4-6292.2.41 LSPr-022-IDN

Gambar 2. 9 Spesifikasi Pompa Jet

2.8 Baterai/Aki

Baterai adalah salah satu komponen penyimpan energi yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kimia dan energi kimia menjadi energi listrik. Jumlah tenaga listrik yang disimpan di dalam baterai dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik tergantung pada kapasitas baterai dalam satuan amper jam (AH).



Gambar 2. 10 Baterai/Aki

BAB III METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan rancang bangun PLTPH menggunakan *Booster pump* sebagai penambah tekanan air ini, terhitung mulai bulan Maret 2023 sampai dengan September 2023 yang dilaksanakan dan diujikan di lingkungan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk perancangan dan penelitian PLTPH menggunakan *Booster pump* sebagai penambah tekanan air ini, diperlukan alat dan bahan yang sesuai dengan kebutuhan. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah:

1. Alat

Adapun alat yang digunakan adalah:

- a. Seperangkat *tools*
- b. Mesin las smaw
- c. Mesin gerinda
- d. Mesin bor
- e. Amperemeter
- f. Voltmeter
- g. Tachometer
- h. Multimeter
- i. Kabel

2. Bahan

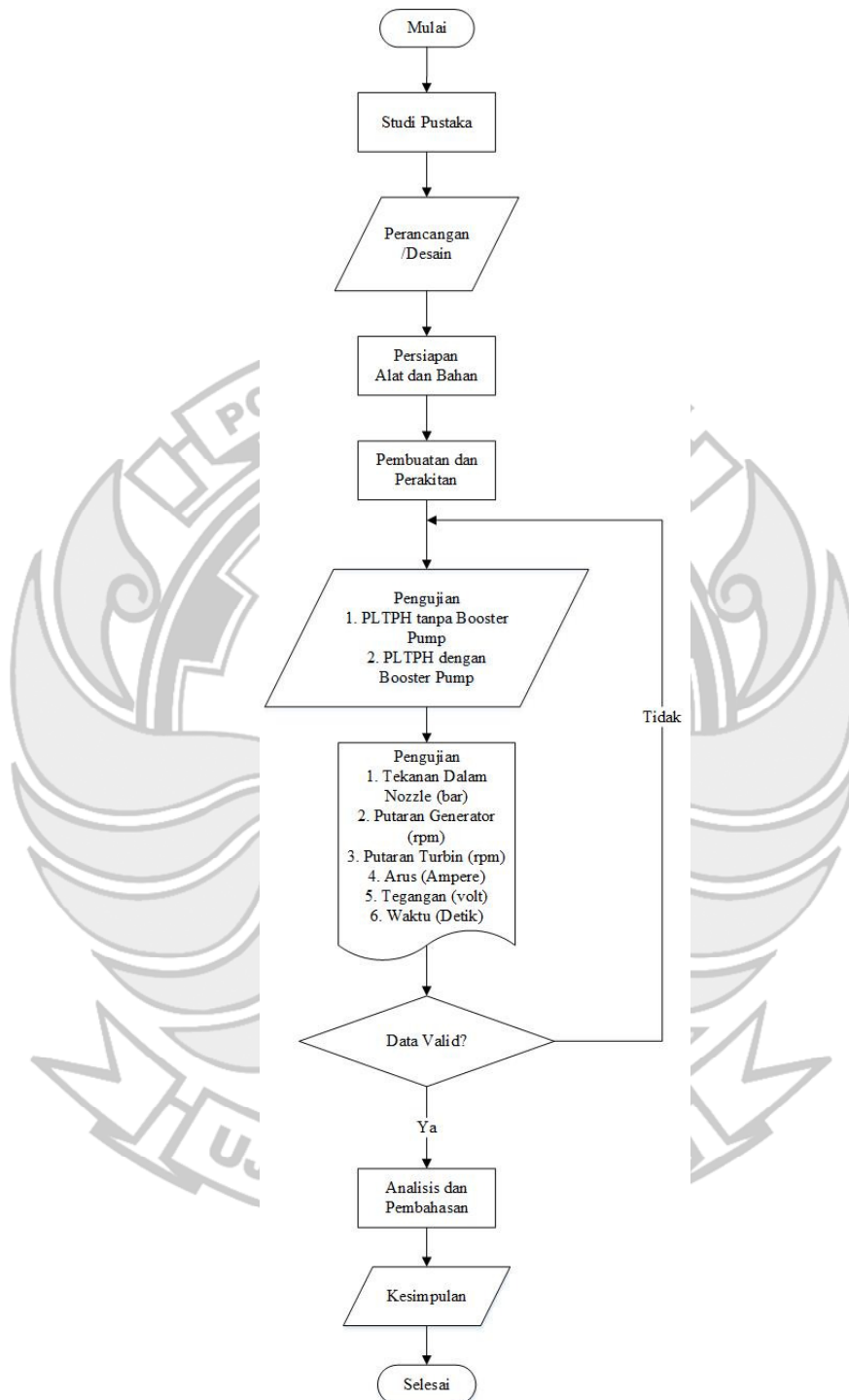
Adapun bahan yang digunakan adalah:

- a. Pipa galvanis
- b. Baut, mur, ring
- c. Elektroda las
- d. Bantalan/Bearing
- e. Elbow pipa Galvanis
- f. Pressure gauge
- g. Katup
- h. *Nozzle*
- i. Pompa *Booster*
- j. Generator dc
- k. Lampu dc

3.3 Prosedur/Langkah Kerja

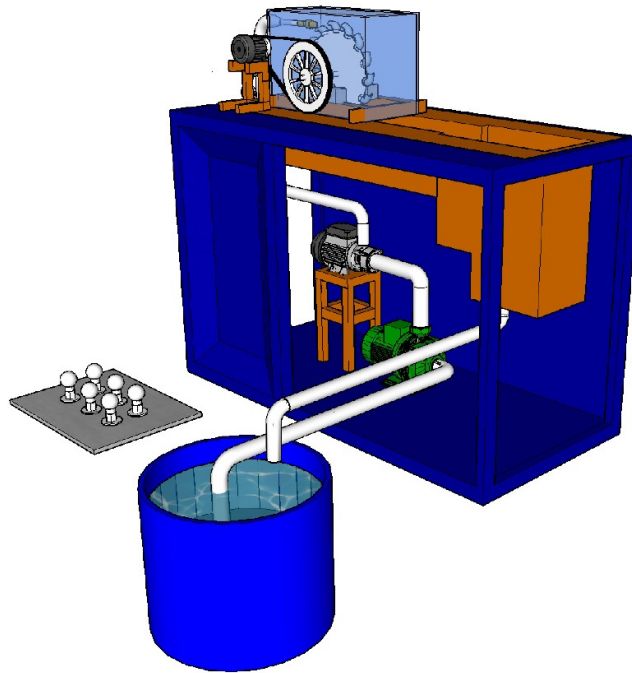
3.3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur Perancangan ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan tersebut sesuai dengan diagram alir pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 1 Diagram alir proses perancangan PLTPH menggunakan *Booster* pump sebagai penambah tekanan air

3.3.2 Proses dan Prinsip Kerja Sistem Uji

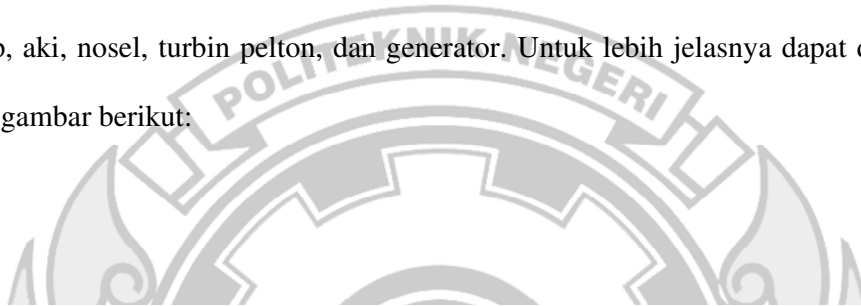


Gambar 3. 2 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi

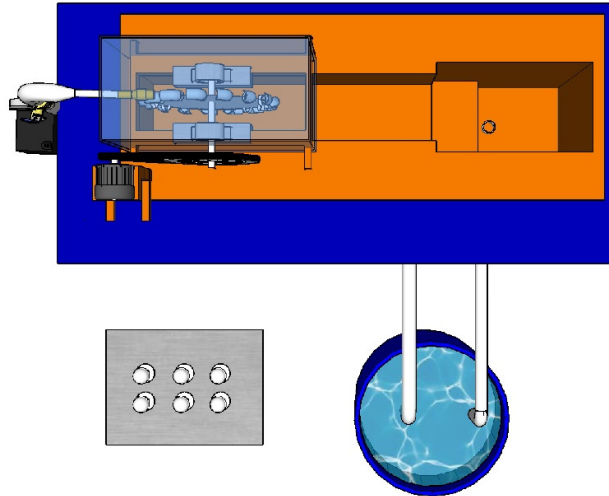
Adapun sistem ini terdiri dari: bak penampung, pompa semi jet, pompa *Booster*, nozel, turbin pelton, Aki dan generator Dc. Prinsip kerja dari sistem uji ini yaitu air dari penampung akan dialirkan ke nozel menggunakan pompa semi jet, lalu air akan melalui *Booster* pump untuk ditambah tekanannya. Air akan disemprotkan oleh nozel untuk menabrak sudu-sudu turbin sehingga turbin akan berputar. Kemudian poros turbin akan dihubungkan ke generator untuk membangkitkan listrik. Air yang keluar dari sudu-sudu turbin akan kembali ke bak penampung.

3.3.3 Proses Perakitan

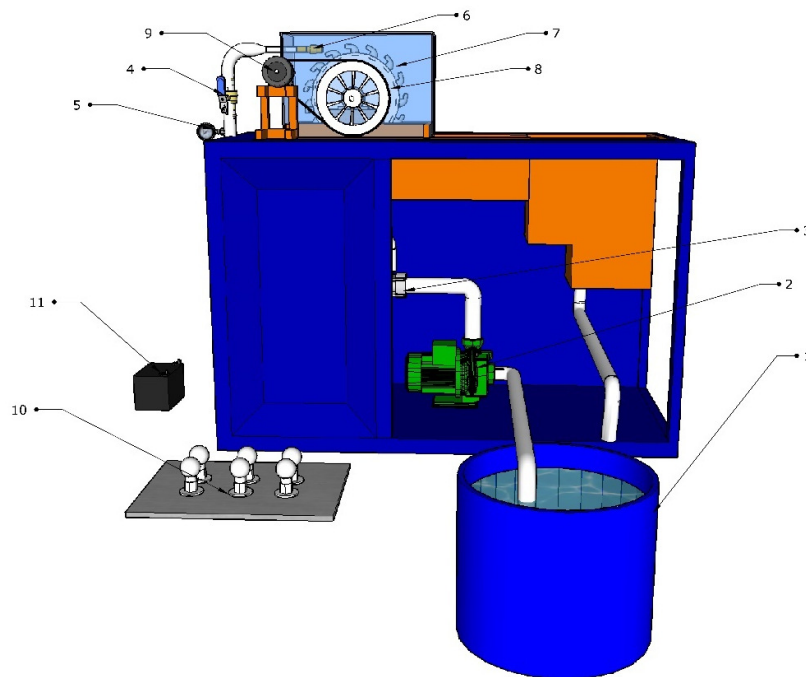
Perakitan alat merupakan proses menyatukan setiap komponen yang ada hingga membentuk sebuah alat yang utuh. Penelitian ini mula-mula dilakukan dengan menyiapkan semua komponen dan rangka, kemudian semua komponen disatukan pada rangka siku meliputi penampungan air, pompa semi jet, *Booster* pump, aki, nosel, turbin pelton, dan generator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 3 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Samping



Gambar 3. 4 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Atas

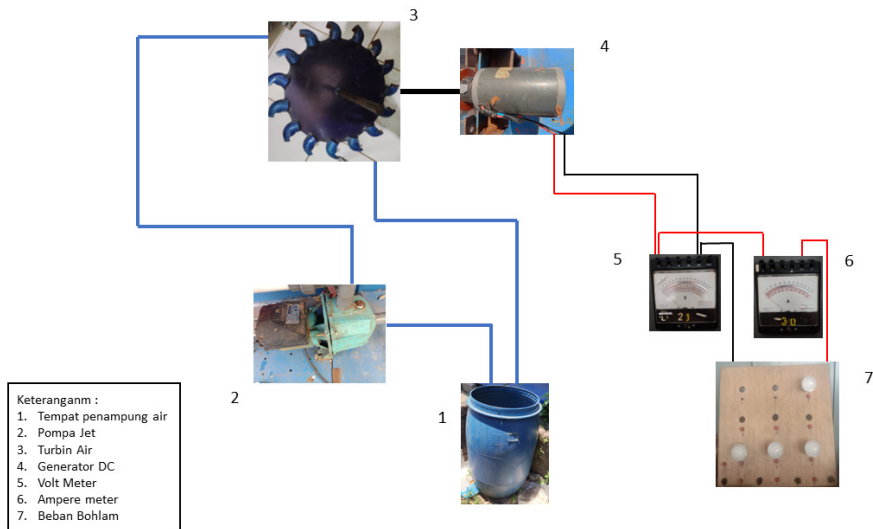


Gambar 3. 5 Desain Alat Pengujian 3 Dimensi Tampak Depan

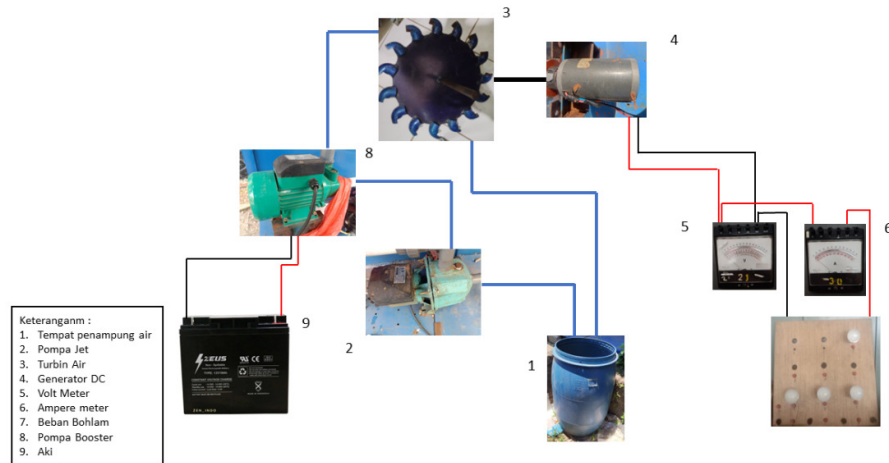
Keterangan:

- 1) Bak Penampungan Air
- 2) Pompa semi jet
- 3) *Booster pump*
- 4) Katup
- 5) Barometer
- 6) *Nozzle*
- 7) Turbin Pelton
- 8) *Pully*
- 9) Generator
- 10) Lampu DC
- 11) Aki

3.3.4 Rangkaian Instalasi



Gambar 3. 6 Rangkaian Alat Uji Tanpa *Booster*



Gambar 3. 7 Rangkaian Alat Uji Menggunakan *Booster*

3.4 Langkah-Langkah Pengujian Alat

Adapun langkah-langkah pengujian alat yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapan alat.
- 2) Menghubungkan *Booster pump* pada Aki
- 3) On-kan saklar pompa.
- 4) Ukur volume (V) dan waktu (t) aliran air.
- 5) Ukur putaran turbin (N).
- 6) Sambungkan sistem dengan generator.
- 7) Berikan beban listrik secara bervariasi.
- 8) Ukur putaran turbin (N), tegangan listrik (V), dan arus listrik (I).
- 9) Off-kan saklar pompa

10) Ulangi langkah 3-8.

11) Selesai.

3.5 Teknik Analisis Data

Pengumpulan data awal dilakukan sebelum perancangan dan pembuatan alat, adapun data awal yang dibutuhkan adalah debit air yang dapat disuplai oleh pompa, kecepatan aliran air dan tekanan air.

Setelah dilaksanakan perancangan, perakitan dan pengujian, maka dilakukan pengambilan data yakni:

1. Mengukur putaran poros turbin dan generator menggunakan tachometer
2. Mengukur tekanan air yang mengalir menuju turbin
3. Mengukur waktu kenaikan air pada bak penampung
4. Mengukur tegangan pada generator menggunakan voltmeter
5. Mengukur arus pada rangkaian beban dengan menggunakan amperemeter
6. Melakukan pengukuran ulang setelah memasang *Booster pump*

3.6 Metode Analisis Data

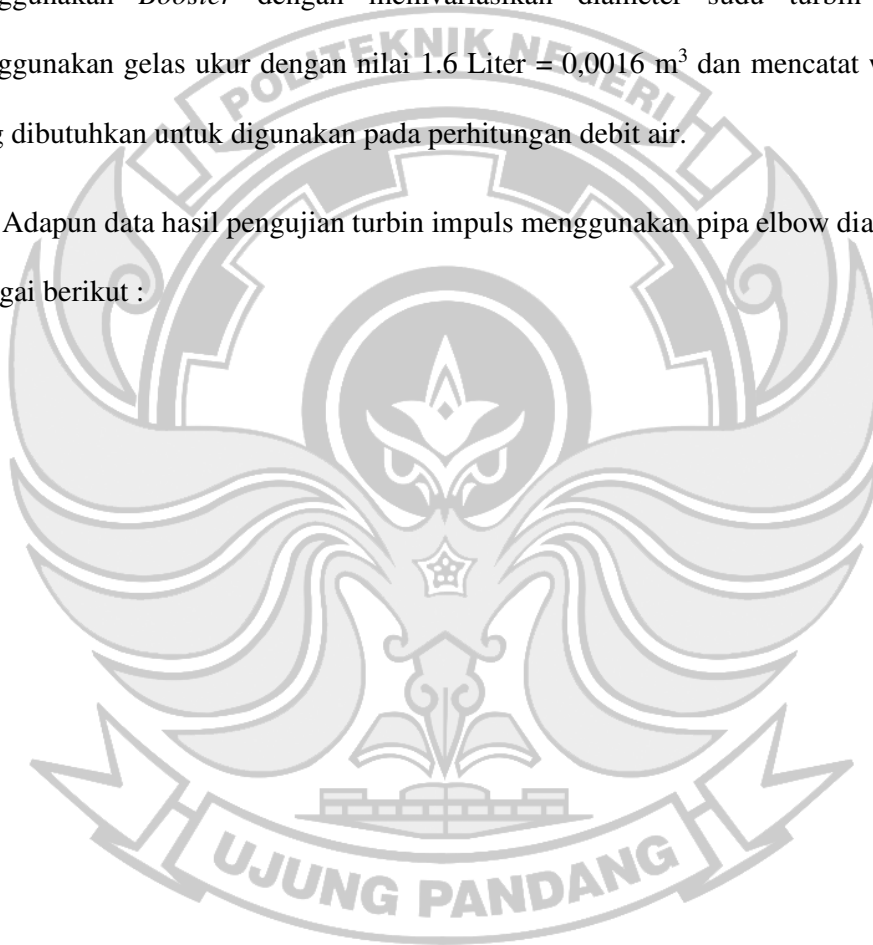
Setelah melakukan proses pengujian dan pengambilan data, maka data yang diperoleh akan dianalisis sesuai dengan persamaan yang telah ada. Maka dari itu kita dapat mengetahui berapa daya yang dihasilkan untuk sistem yang tidak menggunakan *Booster pump* dan yang menggunakan *Booster pump*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian PLTPH Tanpa Booster dan dengan Booster

Berdasarkan hasil pengujian turbin impuls menggunakan pipa elbow dengan diameter sudu $\frac{3}{4}$ inci dilakukan dua jenis pengujian yaitu Tanpa *Booster* dan menggunakan *Booster* dengan memvariasikan diameter sudu turbin serta menggunakan gelas ukur dengan nilai 1.6 Liter = 0,0016 m³ dan mencatat waktu yang dibutuhkan untuk digunakan pada perhitungan debit air.

Adapun data hasil pengujian turbin impuls menggunakan pipa elbow diameter sebagai berikut :



4.1.1 Pengujian Tanpa Pompa *Booster*

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian dengan bukaan *Katup* 100%

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	34.58	34.57	34.6	34.58	12	12	12	12.0	0.25	0.25	0.25	0.25	159.2	628	2
2	0.016	34.58	34.56	34.58	34.57	10.5	10.5	11	10.7	0.26	0.26	0.26	0.26	157.2	625	2
3	0.016	34.55	34.53	34.56	34.54	9.5	10	9.5	9.7	0.27	0.28	0.27	0.27	155.7	621	2
4	0.016	34.53	34.51	34.52	34.52	9	10	9	9.3	0.28	0.27	0.28	0.28	153.2	620	2
5	0.016	34.52	34.53	34.54	34.53	8.5	8.5	8.5	8.5	0.3	0.29	0.29	0.29	149.9	615	2

4.1.2 Pengujian Menggunakan Pompa *Booster*

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian dengan bukaan *Katup* 100%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	30.83	30.87	30.88	30.86	14.5	14.5	14	14.333	0.46	0.46	0.46	0.46	200.2	744.9	3.2
2	0.016	30.81	30.75	30.9	30.82	13	13	13	13.000	0.47	0.47	0.48	0.47	198.6	725.6	3.2
3	0.016	30.87	30.75	30.83	30.81	12	12.5	12	12.167	0.48	0.49	0.49	0.49	199.6	720	3.2
4	0.016	30.46	30.55	30.82	30.61	12	12	11.5	11.833	0.48	0.5	0.5	0.49	196.5	749.7	3.2
5	0.016	30.72	30.59	30.51	30.60	11.5	11.5	11	11.333	0.49	0.5	0.52	0.50	197.3	761.2	3.2

4.2 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian PLTPH dengan dan tanpa menggunakan pompa *booster*, maka diperoleh data-data yang dianalisa sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian tanpa pompa *booster* variasi bukaan *Katup* 100%.

Berdasarkan data ke-3 pada tabel 4. 1 pengujian PLTPH tanpa pompa *booster* dengan bukaan *Katup* 100% menggunakan beban 3 bohlam sebagai acuan analisa, sebagai berikut:

Volume tangki (V)	= 0,016 m ³
Diameter dalam celah nosel (d)	= 0,006 m ²
Waktu (t)	= 34,55 s
Tegangan (V)	= 9,7 V
Arus (I)	= 0,273 A
Temperatur air (T)	= 30° C
Tekanan dalam <i>nozzle</i> (P)	= 2 Bar
Percepatan gravitasi (g)	= 9,81 m/s ²

Dapat dianalisa:

1) Daya Input

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

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,0016 \text{ m}^3}{34,55 \text{ s}} = 4,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air maka diperoleh:

Temperatur air = 30°C

Massa Jenis Air (pair) = 995,7 kg/m³

c. Tinggi Jatuh Air (*H*)

$$\begin{aligned} A &= P \times 10,13 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 2 \text{ Bar} \times 10,13 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 20,26 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{in} &= 995,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 4,63 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 20,26 \text{ m} \\ &= 91,65 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Daya Output Listrik

$$\begin{aligned} PL &= V \times I \\ &= 9,7 \text{ V} \times 0,273 \text{ A} \\ &= 2,64 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3) Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{PL}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,64 \text{ Watt}}{91,65 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 2,88\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis data lain dapat dilihat pada Tabel 4.9.

4.2.2 Pengujian dengan menggunakan pompa *booster* variasi bukaan 100%.

Berdasarkan data ke-3 pada tabel 4. 5 pengujian PLTPH menggunakan pompa *booster* dengan bukaan *Katup* 100% menggunakan beban 3 bohlam sebagai acuan analisa sebagai berikut :

$$\text{Volume tangki (V)} = 0,016 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter dalam celah } nozzle \text{ (d)} = 0,006 \text{ m}^2$$

$$\text{Waktu (t)} = 30,817 \text{ s}$$

$$\text{Tegangan (V)} = 12,167 \text{ V}$$

$$\text{Arus (I)} = 0,49 \text{ A}$$

$$\text{Temperatur air (T)} = 30^\circ \text{ C}$$

$$\text{Tekanan (P)} = 3,2 \text{ Bar}$$

$$\text{Percepatan gravitasi (g)} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Dapat dianalisa,

1) Daya Input

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

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{0,0016 \text{ m}^3}{30,817 \text{ s}} = 5,19 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air maka diperoleh:

Temperatur air = 30°C

Massa Jenis Air (ρ_{air}) = 995,7 kg/m³

c. Tinggi Jatuh Air (H)

$$\begin{aligned} A &= P \times 10,13 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 3,2 \text{ Bar} \times 10,13 \text{ mH}_2\text{O} \\ &= 32,42 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} P_{in} &= 995,7 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 5,19 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \cdot 32,42 \text{ m} \\ &= 164,40 \text{ Watt} \end{aligned}$$

2) Daya Output Listrik

$$\begin{aligned} PL &= V \times I \\ &= 12,167 \text{ V} \times 0,49 \text{ A} \\ &= 5,92 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3) Efisiensi Sistem

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{PL}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{5,93 \text{ Watt}}{164,40 \text{ Watt}} \times 100\% \\ &= 3,60\% \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil analisis data lain dapat dilihat pada Tabel 4.13.

4.3 Tabel Hasil Analisis Data

Setelah melakukan analisis data pada PLTPH menggunakan *booster* dan tidak menggunakan *booster*, maka diperoleh hasil analisis data sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 100%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.627	20.26	91.56	3.00	3.28
995.7	4.628	20.26	91.58	2.77	3.03
995.7	4.631	20.26	91.65	2.64	2.88
995.7	4.635	20.26	91.72	2.58	2.82
995.7	4.634	20.26	91.70	2.49	2.72

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 75%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.548	18.23	81.01	2.49	3.07
995.7	4.547	18.23	80,98	2.35	2.90
995.7	4.547	18.23	80,98	2.29	2.83
995.7	4.546	18.23	80,97	2.17	2.68
995.7	4.547	18.23	80,99	2.12	2.62

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.383	15.20	65.06	1.95	3.00
995.7	4.382	15.20	65.04	1.84	2.82
995.7	4.381	15.20	65.03	1.76	2.70
995.7	4.378	15.20	64.98	1.67	2.57
995.7	4.380	15.20	65.00	1.64	2.52

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 25%.

ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	3.981	10.13	39.40	0.99	2.50
995.7	3.961	10.13	39.20	0.98	2.49
995.7	3.834	10.13	37.93	0.90	2.37
995.7	3.850	10.13	38.09	0.83	2.18
995.7	3.834	10.13	37.94	0.77	2.02

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 100%.

ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.185	32.42	164.17	6.59	4.02
995.7	5.191	32.42	164.38	6.15	3.74
995.7	5.192	32.42	164.40	5.92	3.60
995.7	5.227	32.42	165.51	5.84	3.53
995.7	5.228	32.42	165.51	5.70	3.45

Tabel 4. 8 Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 75%.

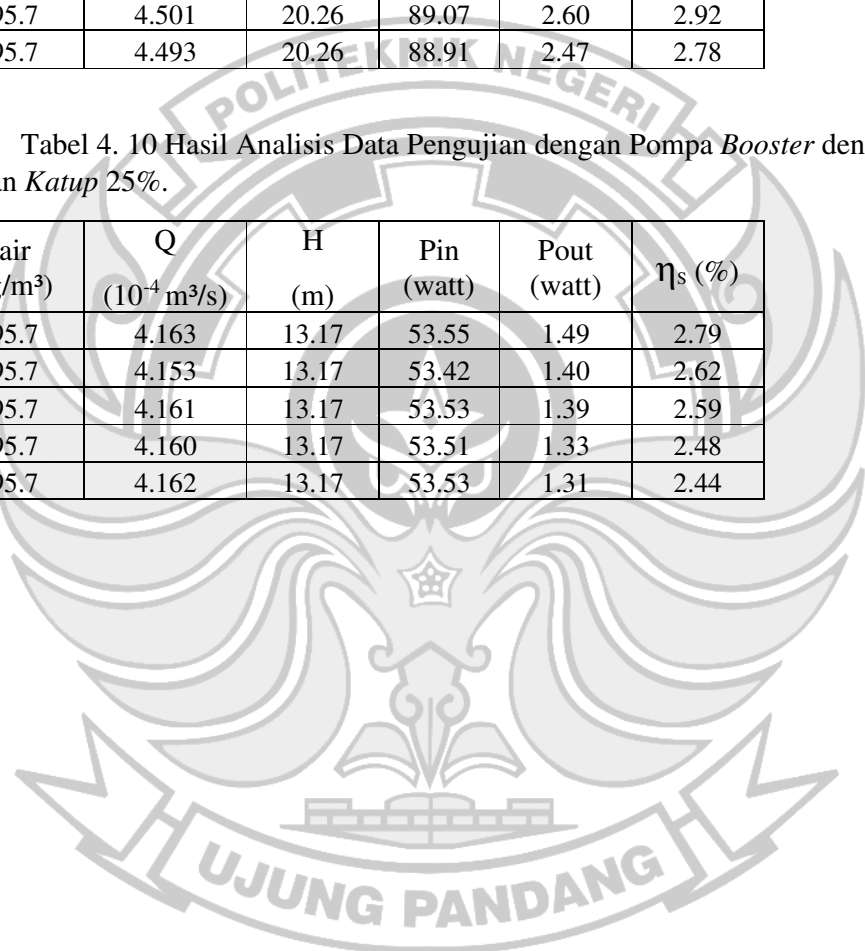
ρ_{air} (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.151	28.36	142.70	5.12	3.59
995.7	5.153	28.36	142.77	4.99	3.49
995.7	5.159	28.36	142.93	4.67	3.26
995.7	5.156	28.36	142.86	4.54	3.18
995.7	5.151	28.36	142.72	4.32	3.03

Tabel 4. 9 Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.533	20.26	89.71	2.96	3.30
995.7	4.530	20.26	89.66	2.77	3.09
995.7	4.500	20.26	89.06	2.66	2.98
995.7	4.501	20.26	89.07	2.60	2.92
995.7	4.493	20.26	88.91	2.47	2.78

Tabel 4. 10 Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 25%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.163	13.17	53.55	1.49	2.79
995.7	4.153	13.17	53.42	1.40	2.62
995.7	4.161	13.17	53.53	1.39	2.59
995.7	4.160	13.17	53.51	1.33	2.48
995.7	4.162	13.17	53.53	1.31	2.44

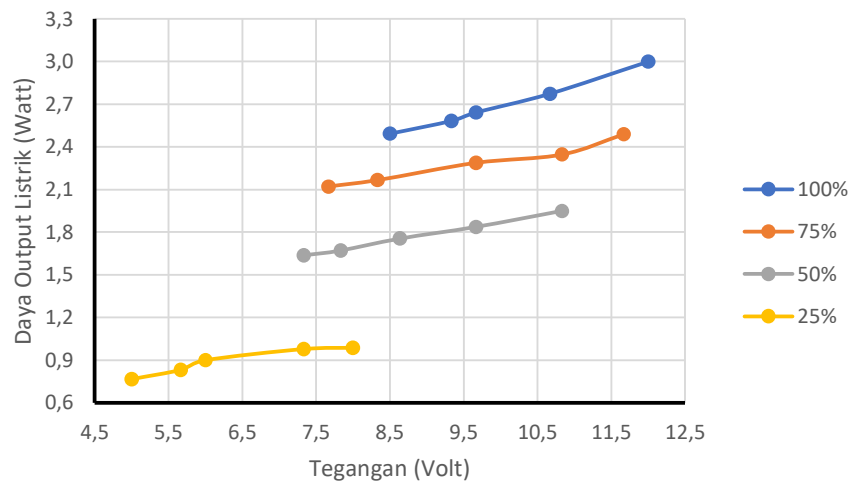


4.4 Grafik

Setelah dilakukan analisis data hasil pengujian maka selanjutnya data hasil analisis dibuat dalam bentuk visual grafik perbandingan antara PLTPH dengan pompa *booster* dan tanpa pompa *booster* dengan beban satu bohlam senilai 5 watt.

4.4.1 Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4, didapatkan grafik sebagai berikut:



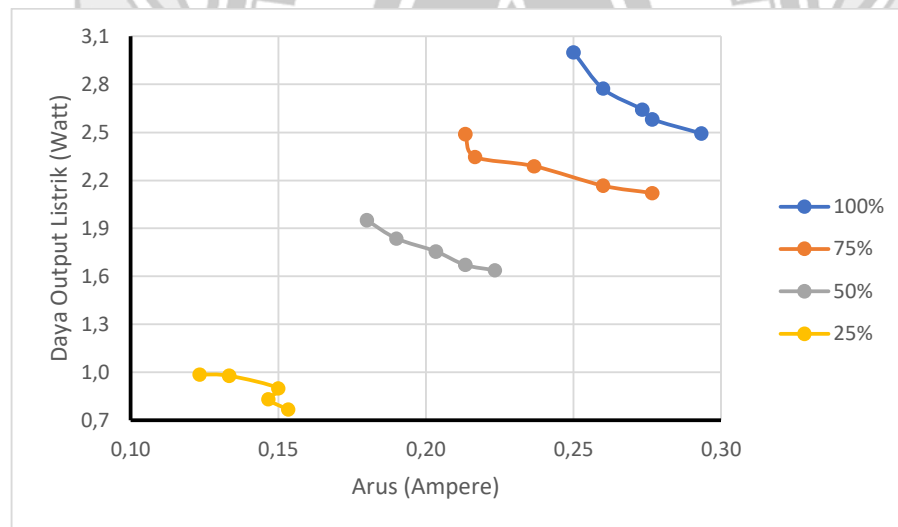
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Tegangan pada kondisi tanpa *Booster*

Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan anatara daya output terhadap tegangan, dimana dapat dilihat bahwa semakin besar rata-rata tegangan yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik yang berwarna merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trand grafik yang berwarna abu

abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trand grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh tegangan rata rata sebesar 12 volt dan daya output listrik sebesar 3 watt, apabila. dipasang 5 bohlam diperoleh tegangan rata rata sebesar 8.5 volt dan daya output listrik sebesar 2,49 watt.

4.4.2 Grafik hubungan daya output listrik terhadap arus pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.1 - 4.4, didapatkan grafik sebagai berikut:



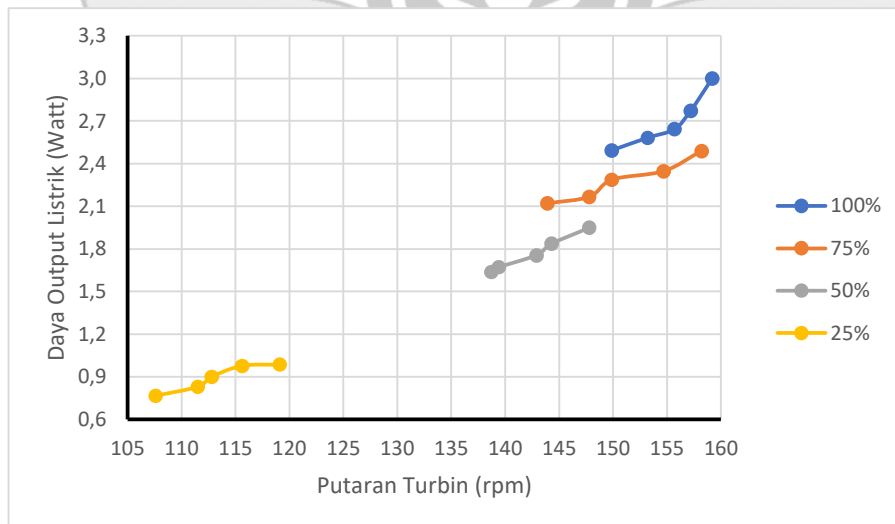
Gambar 4. 2 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Arus pada kondisi tanpa *Booster*

Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami penurunan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik yang berwarna

merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trand grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trand grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh arus rata rata sebesar 0.5 ampere, daya output listrik sebesar 3 watt, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh arus rata rata sebesar 8.5 volt dan daya output listrik sebesar 2.49 watt.

4.4.3 Grafik hubungan daya output listrik terhadap putaran turbin pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.1 - 4.4, ddidapatkan grafik sebagai berikut:



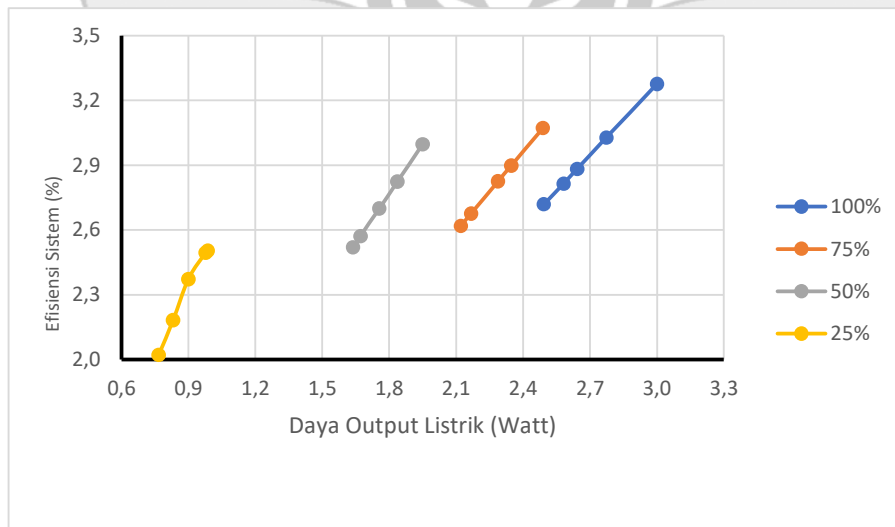
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Putaran Turbin pada kondisi tanpa *Booster*

Gambar 4..3 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran rata rata turbin yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami penurunan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik

yang berwarna merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trend grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trend grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh putaran turbin sebesar 159,2 rpm, daya output listrik sebesar 2.49 watt, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh putaran turbin sebesar 149,2 rpm dan daya output listrik sebesar 2.12 watt.

4.4.4 Grafik hubungan daya output listrik terhadap efisiensi sistem pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.1- 4.4, didapatkan grafik sebagai berikut:



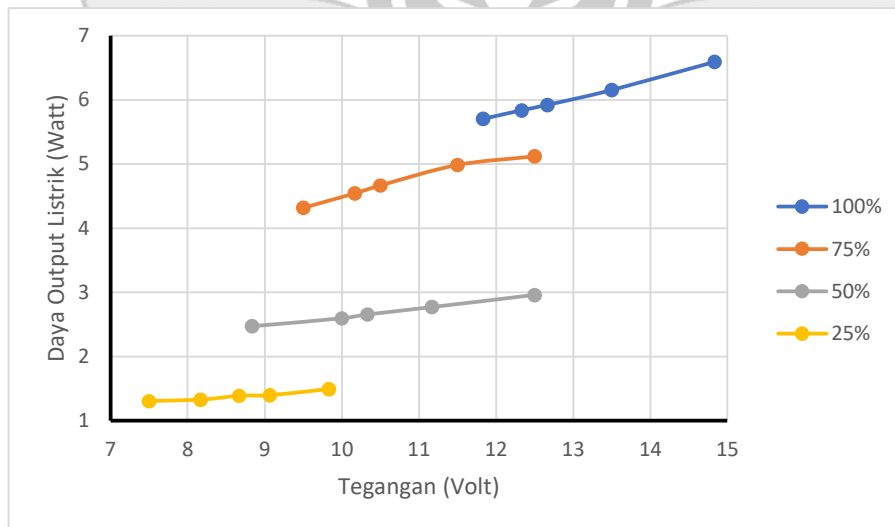
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan antara Efisiensi Sistem dengan Daya Output Listrik pada kondisi tanpa *Booster*

Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar daya output yang dihasilkan, maka Efisiensi sistem cenderung mengalami kenaikan. Adapun trend grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trend grafik yang berwarna

merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trand grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trand grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh daya output sebesar 3 watt sebesar, efisiensi sistem sebesar 3.32 %, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh daya output sebesar 2.49 watt dan efisiensi sistem sebesar 3.32 %.

4.4.5 Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi menggunakan pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.5 – 4.8, didapatkan grafik, sebagai berikut:



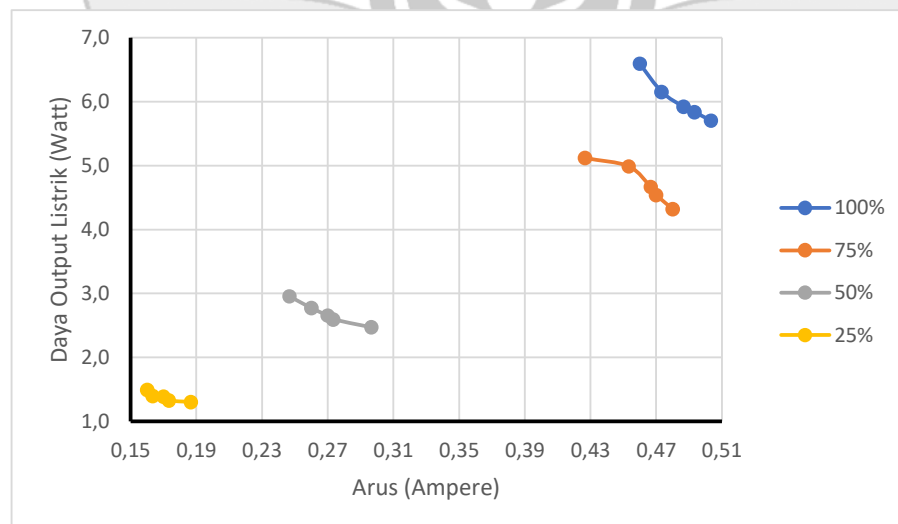
Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Tegangan pada kondisi menggunakan *Booster*

Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin besar tegangan yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik yang berwarna

merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trend grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trend grafik yang berwarna kuning menunjukkan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan kaupt 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh tegangan rata rata sebesar 14.33 volt ,daya output listrik sebesar 6.59 watt, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh tegangan sebesar 11.33 volt dan daya output listrik sebesar 5.70 watt.

4.4.6 Grafik hubungan daya output listrik terhadap arus pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.5 – 4.8, didapatkan grafik sebagai berikut:



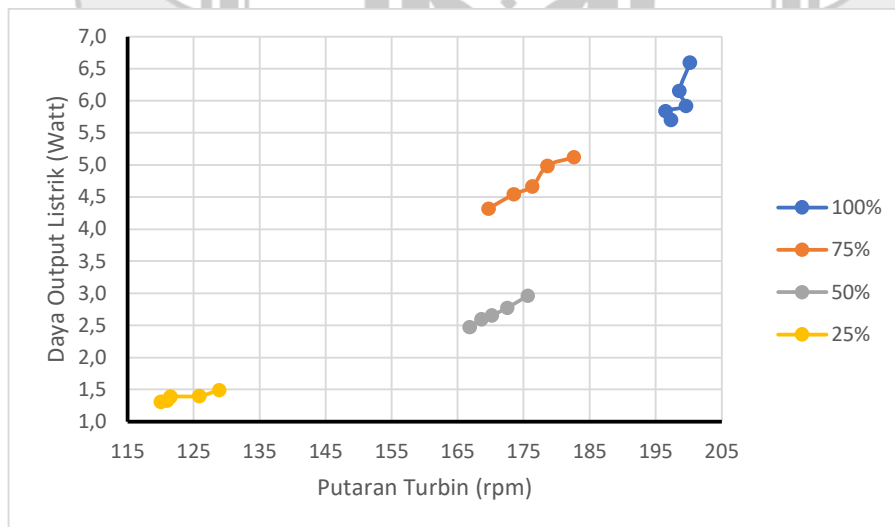
Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Arus pada kondisi menggunakan *Booster*

Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin besar arus rata-rata yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami penurunan. Adapun trend grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trend grafik

yang berwarna merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trand grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trand grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100% apabila dipasang 1 bohlam diperoleh arus rata rata sebesar 0.46 ampere, daya output listrik sebesar 6.59 watt, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh arus rata rata sebesar 0.50 ampere dan daya output listrik sebesar 5.70 watt.

4.4.7 Grafik hubungan daya output listrik terhadap putaran turbin pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.5 – 4.8, didapatkan grafik sebagai berikut:



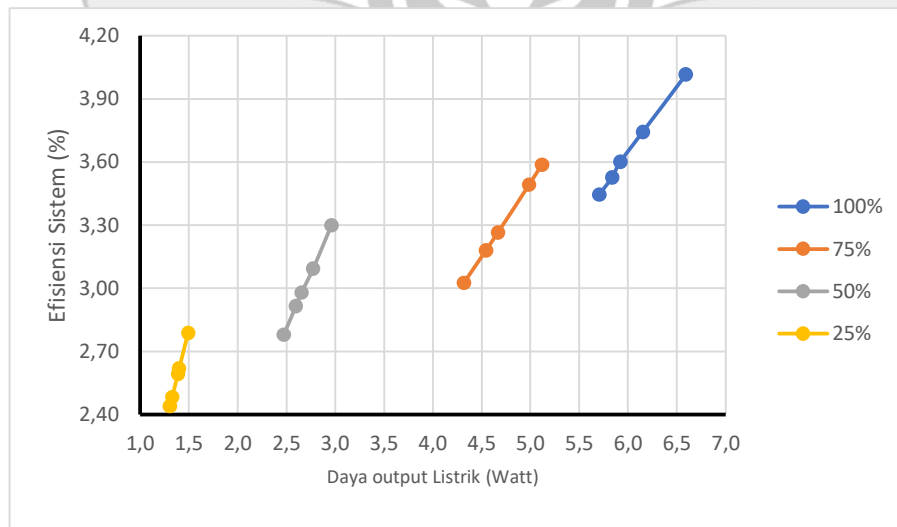
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan antara Daya Output Listrik dengan Putaran Turbin pada kondisi menggunakan *Booster*

Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar putaran rata rata turbin yang dihasilkan, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik yang

berwarna merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trand grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trand grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh putaran turbin sebesar 202,2 rpm, daya output listrik sebesar 5.12 watt, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh putaran turbin sebesar 197,3 rpm dan daya output listrik sebesar 4.32 watt.

4.4.8 Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa *booster*

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.5 – 4.8, didapatkan grafik sebagai berikut:

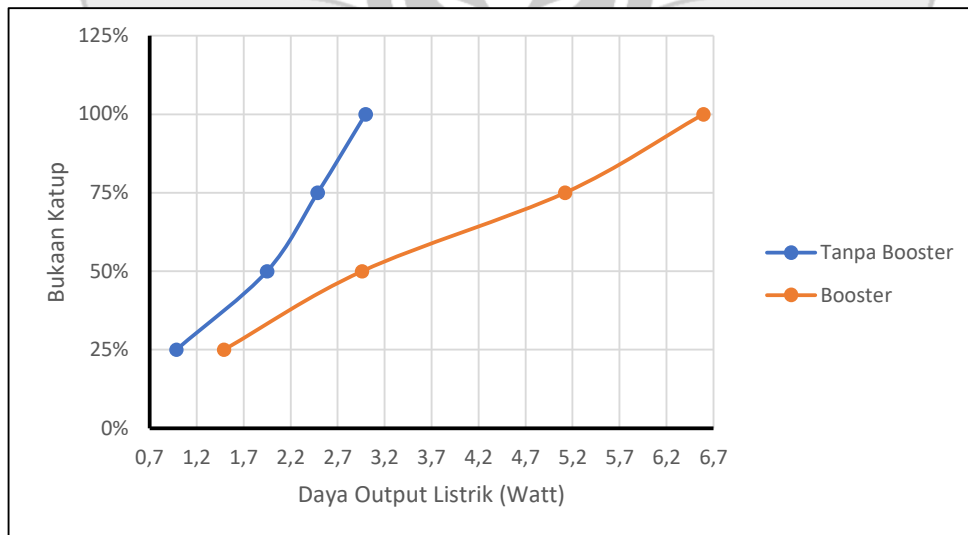


Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan antara Efisiensi Sistem dengan Daya Output Listrik pada kondisi menggunakan *Booster*

Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa semakin besar daya output yang dihasilkan, maka daya Efisiensi sistem cenderung mengalami kenaikan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan bukaan *Katup* 100%, trand grafik yang berwarna

merah menunjukkan bukaan *Katup* 75%, trend grafik yang berwarna abu abu menunjukkan bukaan *Katup* 50 % dan trend grafik yang berwarna kuning menunjukan bukaan *Katup* 25%, contohnya untuk bukaan *Katup* 100%, apabila dipasang 1 bohlam diperoleh daya output sebesar 6.59 watt, efisiensi sistem sebesar 4.07 %, apabila dipasang 5 bohlam diperoleh daya output sebesar 5.70 watt dan efisiensi sistem sebesar 3.49 %.

4.4.9 Grafik hubungan daya output listrik terhadap bukaan *Katup* pada kondisi menggunakan dan tidak menggunakan pompa *booster* pada beban 1 lampu Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.9 – 4.16, didapatkan grafik sebagai berikut:



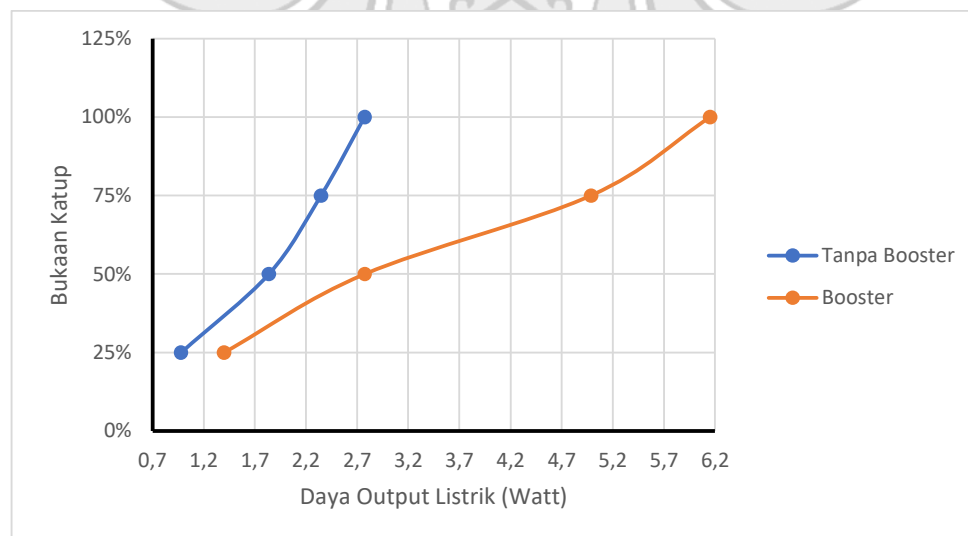
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan antara Bukaan *Katup* dengan Daya Output Listrik pada Beban 1 Lampu

Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin besar bukaan *Katup*, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Adapun trend grafik yang berwarna

biru menunjukkan keadaan tanpa pompa *booster*, trand grafik yang berwarna merah menunjukkan keadaan menggunakan pompa *booster*, contohnya dalam keadaan menggunakan dan tanpa menggunakan pompa *booster* pada keadaan bohlam 1, trand grafik mengalami kenaikan dari bukaan *Katup* 25% sampai dengan 100%, dalam keadaan tanpa menggunakan pompa *booster*, dimana pada bukaan *Katup* 25% diperoleh daya output 2.12 watt dan pada bukaan *Katup* 100% diperoleh daya output 2.49 watt, sementara itu dalam keadaan menggunakan pompa *booster*, dimana pada bukaan *Katup* 25% diperoleh daya output 4.32 watt dan pada bukaan *Katup* 100% diperoleh daya output 5.12 watt

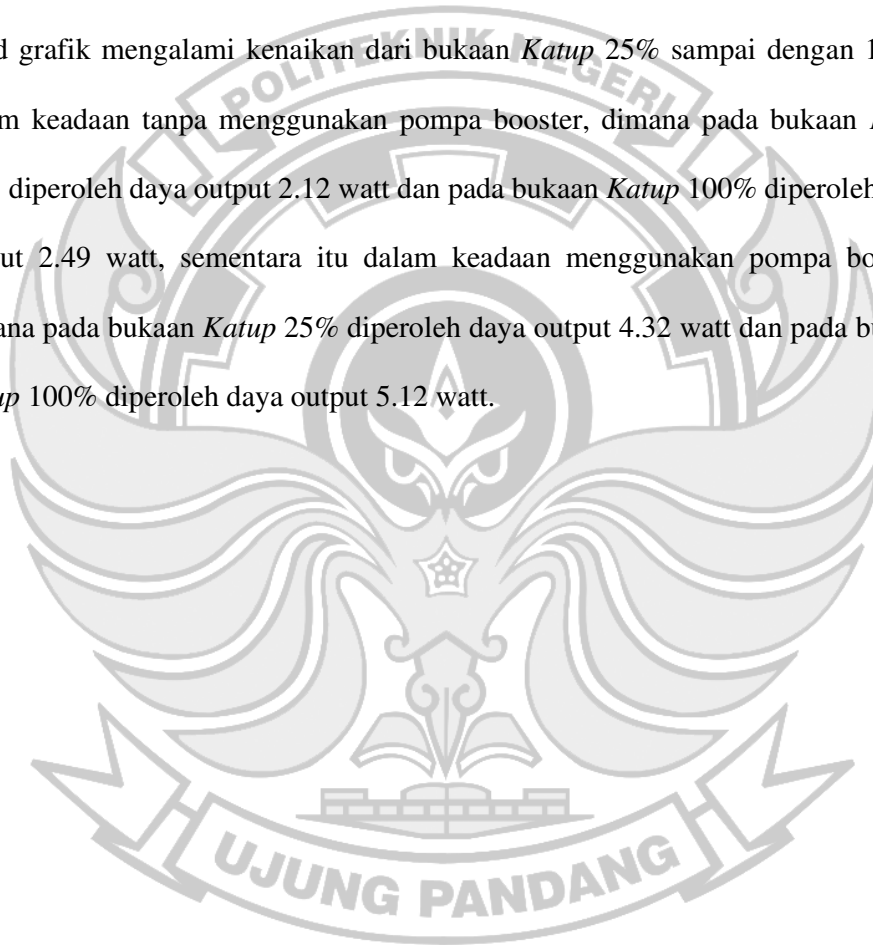
4.4.10 Grafik hubungan daya output listrik terhadap tegangan pada kondisi tanpa pompa *booster* pada beban 2 lampu

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.9 – 4.16, didapatkan grafik sebagai berikut:



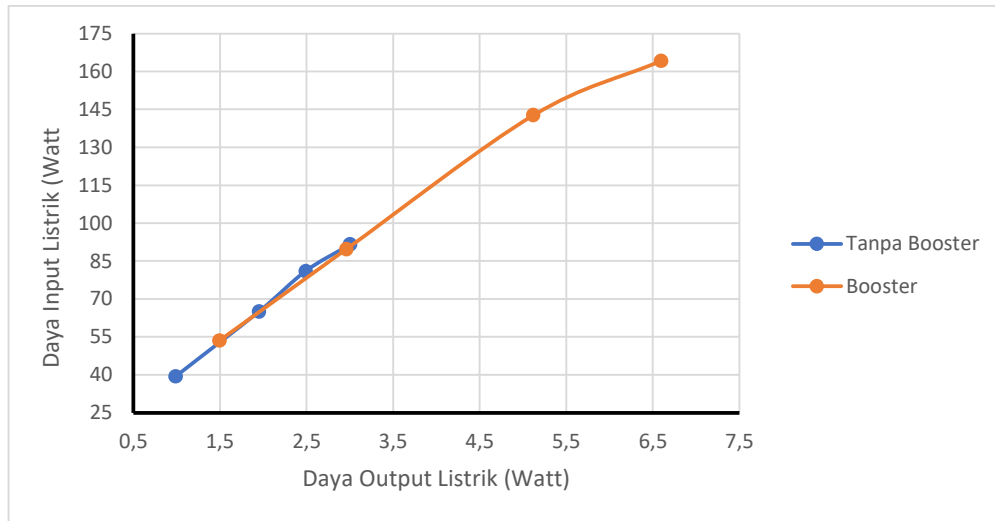
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara Bukaan *Katup* dengan Daya Output Listrik pada Beban 2 Lampu

Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa semakin besar bukaan *Katup*, maka daya output listrik cenderung mengalami kenaikan. Adapun trand grafik yang berwarna biru menunjukkan keadaan tanpa pompa *booster*, trand grafik yang berwarna merah menunjukkan keadaan menggunakan pompa *booter*, contohnya dalam keadaan menggunakan dan tanpa menggunakan pompa *booster* pada keadaan bohlam 1, trand grafik mengalami kenaikan dari bukaan *Katup* 25% sampai dengan 100%, dalam keadaan tanpa menggunakan pompa booster, dimana pada bukaan *Katup* 25% diperoleh daya output 2.12 watt dan pada bukaan *Katup* 100% diperoleh daya output 2.49 watt, sementara itu dalam keadaan menggunakan pompa booster, dimana pada bukaan *Katup* 25% diperoleh daya output 4.32 watt dan pada bukaan *Katup* 100% diperoleh daya output 5.12 watt.



4.4.11 Grafik hubungan daya output listrik terhadap daya input listrik pada kondisi bukaan *Katup* 100%

Berdasarkan hasil analisis data yang terdapat pada tabel 4.9 – 4.16, didapatkan grafik sebagai berikut



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan antara Daya Input Listrik dengan Daya Output Listrik pada Bukaan *Katup* 100%

Pada gambar 4.11 dapat dilihat perbandingan antara daya input dan output pada keadaan menggunakan dan tidak menggunakan pompa *booster*. Dari hasil grafik tersebut menunjukkan kenaikan daya input dan daya output saat menggunakan pompa *booster* cenderung mengalami kenaikan dibandingkan saat tidak menggunakan pompa *booster*. Adapun trend grafik yang berwarna biru menunjukkan keadaan tanpa pompa *booster*, trend grafik yang berwarna merah menunjukkan keadaan menggunakan pompa *booster*, contohnya dalam keadaan menggunakan dan tanpa menggunakan pompa *booster* pada keadaan bohlam 1, dengan bukaan *Katup* 100%, dalam keadaan tanpa menggunakan pompa *booster*,

diperoleh daya input sebesar 91.56 watt dan daya output sebesar 3 watt sementara pada keadaan tanpa pompa *booster*, diperoleh daya input sebesar 164,17 watt dan daya output sebesar 6.59 watt



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kinerja dan perhitungan data mengenai penggunaan booster sebagai penambah tekanan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan pompa *booster* mampu meningkatkan kinerja PLTPH khususnya di beberapa variabel, seperti tekanan, daya input, daya output dan efisiensi sistem, contohnya pada bukaan *Katup* 100% menggunakan beban 1 lampu, dalam keadaan tanpa menggunakan pompa *booster*, dihasilkan tekanan sebesar 2 bar, daya input sebesar 91,56 watt, daya output sebesar 2,49 watt, dan efisiensi sistem sebesar 3,11%. Sementara itu, dalam keadaan menggunakan pompa *booster*, dihasilkan tekanan sebesar 3,2 bar, daya input sebesar 164,17 watt, daya output sebesar 5,12 watt, dan efisiensi sistem sebesar 3,63%. terjadi kenaikan kinerja PLTPH sebelum dan sesudah menggunakan pompa *booster*, untuk variable tekanan terjadi kenaikan sebesar 1,2 bar, untuk daya input terjadi kenaikan sebesar 75,61 watt, untuk daya output terjadi kenaikan sebesar 2,49 watt dan untuk efisiensi sistem terjadi kenaikan 0,52%
2. Berdasarkan analisis data, maka kinerja PLTPH terbaik saat tidak menggunakan pompa *booster* untuk beban 1 lampu, dengan efisiensi sistem sebesar 3,11% dan saat menggunakan pompa *booster* dengan efisiensi sistem sebesar 3,63%.

3. Berdasarkan analisis data, daya output yang dibangkitkan PLTPH setelah menggunakan pompa *booster* lebih besar dibandingkan saat tidak menggunakan pompa *booster*, contohnya pada bukaan *Katup* 100% menggunakan beban 1 bohlam. Dalam keadaan tanpa menggunakan pompa *booster*, daya output yang dibangkitkan sebesar 3 watt, dan dalam keadaan menggunakan pompa *booster*, daya output yang dibangkitkan sebesar 6.59 watt. Dari contoh tersebut, maka terjadi kenaikan daya output sebesar 119%.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya menggunakan *flowmeter* sebelum air mengalir ke turbin, agar *water losses* dapat diketahui, dengan membandingkan debit air sebelum mengalir ke turbin dan debit air saat mengalir ke wadah, selain daripada itu, pemasangan *flowmeter* tersebut berguna untuk mempermudah variasi bukaan *Katup*.
2. Diharapkan pengembangan selanjutnya, agar mengganti dudukan turbin dengan besi yang mempunyai diameter yang tebal, agar turbin dapat berputar dengan lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, Jais Wan dan Indra Jaya. 2014. *Rancang Bangun PLTMH Tipe Turbin Crosflow*. Skripsi. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Amri Ulmi, Zulfikar dan Mahalla. 2021. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro (Pltph) (Analisis Daya Beban Ouput Pada Generator)*. Skripsi. Aceh: Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- Bandari S, Aswir P dan Rafika A. 2021. *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Pcohydro (PLTPh) Rumah Tangga*. (Jurnal Sains dan Teknologi). 21(1): 16-24. Padang: Fakultas TekniK, Institut Teknologi Padang
- Bustami dan Abdul Mulri. 2017. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik PikoHidro 1000 Va Dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Centre*. Skripsi. Jakarta Selatan: Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Ekaputra, Eri Gas dkk. 2022. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro untuk Penggerak Pompa Hidroponik*. Skripsi. Padang: Universitas Andalas.
- Fauziyah Nur. 2017. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Turbin CrossFlow Menggunakan Generator DC Magnet Permanen*. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ibrahim Ahmad Fadli, Massugianto. 2013. *Rancang Bangun Dan Analisis Kinerja Roda Turbin Undershot Dengan Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH*. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Joy E. Sitayani, Lovejuwantri Batu. Pagallaran. 2022. *Pemanfaatan Pipa Elbow Sebagai Sudu Turbin Impuls*. Skripsi. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Kandang Febryanto, Wana Putra. 2014. *Rancang Bangun Dan Uji Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro tipe Propeller*. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Luspa, Intania Namira and Ridwan. 2022. *Uji Kinerja Turbin Turgo Dengan Variasi Jumlah Sudu Dan Sudut Kemiringan Nozzle*. Skripsi. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Muzaka. K, Galang. S. P, Dian. R. P. 2021. *Pemanfaatan Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga PikoHidro di Desa Pesucen Kabupaten Banyuwangi*. (Journal of Social Responsibility Projects by Higher Education Forum0, 1(3).

- Monda, G., dkk. (2022). *Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Turbin Pelton*. (SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin), 3(2), 56-61.
- Nahkoda, Ismail, Y, I. Budi, Sulistiawati, dan A. Soetedjo. 2018. *Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Komponen Bekas Dengan Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan Di Desa Gelang Kecamatan Sumberbaru Kabupater* (Jember. Jurnal Aplikasi dan Inovasi Iptek), 1(2): 99-109
- Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta) Cara Kerja, Jenis Plta & Tipe Turbin. Rakhman.net, 17 september 2023, <https://rakhman.net/power-plants.id/pembangkit-listrik-tenaga-air-plta-cara-kerja-jenis-plta-tipe-turbin/>
- Rosid, Ibnu, A, Widhiarso W. 2022. *Analisis Penerapan Pembangkit Listrik Piko Hidro Dengan Memanfaatkan Instalasi Air Rumah Tangga*. (Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa, dan teknologi), 10(2): 309-316.
- Soleh, Ahmad, B, dkk. 2020. *Analisis Potensi Energi Listrik Piko Hidro dari Sumber Air Pegunungan Serta Upaya Peningkatan Daya Listrik dengan Memanfaatkan Rangkaian (Joule Thief*. *Jurnal of Energy, Material, and Instrumentation Technology*) 1(3): 92-102.
- Zain, Mhd Ajuar. 2019. *Simulasi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Menggunakan Mini Water Pump*. Skripsi. Sumatera Utara: Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.



Lampiran 1 Tabel Data Hasil Pengujian

Tabel 1. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 100%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	34.58	34.57	34.6	34.58	12	12	12	12.0	0.25	0.25	0.25	0.25	159.2	628	2
2	0.016	34.58	34.56	34.58	34.57	10.5	10.5	11	10.7	0.26	0.26	0.26	0.26	157.2	625	2
3	0.016	34.55	34.53	34.56	34.54	9.5	10	9.5	9.7	0.27	0.28	0.27	0.27	155.7	621	2
4	0.016	34.53	34.51	34.52	34.52	9	10	9	9.3	0.28	0.27	0.28	0.28	153.2	620	2
5	0.016	34.52	34.53	34.54	34.53	8.5	8.5	8.5	8.5	0.3	0.29	0.29	0.29	149.9	615	2

Tabel 2. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 75%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	35.18	35.16	35.19	35.17	12	11.5	11.5	11.67	0.2	0.22	0.22	0.21	158.2	610.6	1.8
2	0.016	35.19	35.18	35.2	35.19	11	10.5	11	10.83	0.22	0.21	0.22	0.22	154.7	609.5	1.8
3	0.016	35.18	35.2	35.19	35.19	9.5	9.5	10	9.67	0.24	0.24	0.23	0.24	149.9	590.5	1.8
4	0.016	35.2	35.19	35.2	35.19	9	8	8	8.33	0.26	0.25	0.27	0.26	147.8	585.6	1.8
5	0.016	35.18	35.19	35.19	35.18	7.5	8	7.5	7.67	0.28	0.27	0.28	0.28	143.9	582.8	1.8

Ket : Beban 5 Watt

Tabel 4. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 50%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	36.44	36.55	36.52	36.50	10.5	11	11	10.83	0.18	0.18	0.18	0.18	147.8	582.7	1.5
2	0.016	36.46	36.53	36.54	36.51	10	9.5	9.5	9.67	0.19	0.19	0.19	0.19	144.3	580	1.5
3	0.016	36.49	36.53	36.54	36.52	8	8.9	9	8.63	0.21	0.2	0.2	0.20	142.9	576.3	1.5
4	0.016	36.55	36.53	36.55	36.54	8	7.5	8	7.83	0.21	0.22	0.21	0.21	139.4	557.7	1.5
5	0.016	36.52	36.54	36.54	36.53	7	7	8	7.33	0.24	0.23	0.2	0.22	138.7	545.8	1.5

Tabel 4. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 25%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	40.12	40.1	40.34	40.18	8	8	8	8.00	0.13	0.12	0.12	0.12	119.1	486.3	1
2	0.016	40.42	40.32	40.43	40.39	7	7.5	7.5	7.33	0.14	0.14	0.12	0.13	115.6	466.4	1
3	0.016	40.51	42.24	42.46	41.73	6	6	6	6.00	0.15	0.15	0.15	0.15	112.8	446.3	1
4	0.016	40.25	42.21	42.22	41.56	5.5	5.5	6	5.67	0.15	0.14	0.15	0.15	111.5	440	1
5	0.016	40.4	42.42	42.38	41.73	5	5	5	5.00	0.16	0.15	0.15	0.15	107.6	424.8	1

Ket : Beban 5 Watt

Tabel 5. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 100%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	30.83	30.87	30.88	30.86	14.5	14.5	14	14.333	0.46	0.46	0.46	0.46	200.2	744.9	3.2
2	0.016	30.81	30.75	30.9	30.82	13	13	13	13.000	0.47	0.47	0.48	0.47	198.6	725.6	3.2
3	0.016	30.87	30.75	30.83	30.81	12	12.5	12	12.167	0.48	0.49	0.49	0.49	199.6	720	3.2
4	0.016	30.46	30.55	30.82	30.61	12	12	11.5	11.833	0.48	0.5	0.5	0.49	196.5	749.7	3.2
5	0.016	30.72	30.59	30.51	30.60	11.5	11.5	11	11.333	0.49	0.5	0.52	0.50	197.3	761.2	3.2

Tabel 6. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 75%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	31.09	31.08	31.02	31.06	12	12	12	12.0	0.42	0.43	0.43	0.43	182.6	705.8	2.8
2	0.016	31.06	31.01	31.08	31.05	11	11	11	11.0	0.46	0.45	0.45	0.45	178.6	702.5	2.8
3	0.016	31.02	31.01	31.01	31.01	10	10	10	10.0	0.46	0.47	0.47	0.47	176.3	695.6	2.8
4	0.016	31.02	31.03	31.04	31.03	10	9.5	9.5	9.7	0.46	0.48	0.47	0.47	173.5	693.5	2.8
5	0.016	31.02	31.08	31.08	31.06	9	9	9	9.0	0.48	0.48	0.48	0.48	169.7	699.2	2.8

Ket : Beban 5 Watt

Tabel 7. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 50%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	35.29	35.1	35.5	35.29	12	12	12	12.0	0.24	0.25	0.25	0.25	175.6	685	2
2	0.016	35.48	35.37	35.1	35.31	11	10	11	10.7	0.26	0.26	0.26	0.26	172.5	678	2
3	0.016	35.46	35.7	35.5	35.55	10	9.5	10	9.8	0.27	0.27	0.27	0.27	170.2	663.5	2
4	0.016	35.42	35.55	35.68	35.55	9.5	10	9	9.5	0.27	0.28	0.27	0.27	168.6	661.3	2
5	0.016	35.42	35.69	35.73	35.61	8.5	8	8.5	8.3	0.3	0.29	0.3	0.30	166.8	660.2	2

Tabel 8. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 25%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	38.34	38.52	38.45	38.43	10	9	9	9.3	0.16	0.16	0.16	0.16	128.87	499.5	1.3
2	0.016	38.43	38.62	38.53	38.52	9	8.2	8.5	8.6	0.16	0.17	0.16	0.16	125.85	488.6	1.3
3	0.016	38.45	38.43	38.47	38.45	8	8.5	8	8.2	0.17	0.17	0.17	0.17	121.5	480.8	1.3
4	0.016	38.4	38.52	38.46	38.46	7.5	8	7.5	7.7	0.17	0.17	0.18	0.17	120.98	478.6	1.3
5	0.016	38.43	38.46	38.45	38.44	7	7	7	7.0	0.18	0.19	0.19	0.19	120.02	469.4	1.3

Ket : Beban 5 Watt

Tabel 9. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 100%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	34.58	34.57	34.6	34.58	12.5	12	12	12.2	0.44	0.44	0.44	0.44	159.2	628	2
2	0.016	34.58	34.56	34.58	34.57	11	11	11	11.0	0.91	0.9	0.9	0.90	157.2	625	2
3	0.016	34.55	34.53	34.56	34.55	11	10	10	10.3	1.35	1.34	1.35	1.35	155.7	621	2

Tabel 10. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 75%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	35.18	35.16	35.19	35.18	12	11.5	11.5	11.67	0.37	0.36	0.36	0.36	158.2	610.6	1.8
2	0.016	35.19	35.18	35.2	35.19	11	10.8	11	10.93	0.73	0.72	0.74	0.73	154.7	609.5	1.8
3	0.016	35.18	35.2	35.19	35.19	10.2	10	10	10.07	1.12	1.12	1.1	1.11	149.9	590.5	1.8

Tabel 11. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 50%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	36.44	36.55	36.52	36.50	11	11	11	11.00	0.31	0.3	0.3	0.30	147.8	582.7	1.5
2	0.016	36.46	36.53	36.54	36.51	10	9.5	10	9.83	0.64	0.65	0.64	0.64	144.3	580	1.5
3	0.016	36.49	36.53	36.54	36.52	9	8.9	9	8.97	0.94	0.94	0.95	0.94	142.9	576.3	1.5

Ket : Beban 25 Watt

Tabel 12. Data hasil pengujian tanpa *Booster* dengan bukaan *Katup* 25%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	40.12	40.1	40.34	40.19	9	9	8.6	8.87	0.16	0.16	0.16	0.16	119.1	486.3	1
2	0.016	40.42	40.32	40.43	40.39	8	7.8	7.5	7.77	0.32	0.14	0.12	0.19	115.6	466.4	1
3	0.016	40.51	42.24	42.46	41.74	7	7	7.2	7.07	0.5	0.48	0.48	0.49	112.8	446.3	1

Tabel 13. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 100%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	30.83	30.87	30.88	30.86	14	14	14	14.000	0.63	0.62	0.63	0.63	200.2	744.9	3.2
2	0.016	30.81	30.75	30.9	30.82	13	13	13	13.000	1.25	1.22	1.24	1.24	198.6	725.6	3.2
3	0.016	30.87	30.75	30.83	30.82	12	12.5	12	12.167	1.9	1.9	1.91	1.90	199.6	720	3.2

Tabel 14. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 75%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	31.09	31.08	31.02	31.063	13	13	13	13.0	0.55	0.55	0.54	0.55	182.6	705.8	2.8
2	0.016	31.06	31.01	31.08	31.050	13	12.5	12.5	12.7	1.13	1.14	1.12	1.13	178.6	702.5	2.8
3	0.016	31.02	31.01	31.01	31.013	12	12	12	12.0	1.65	1.64	1.64	1.64	176.3	695.6	2.8

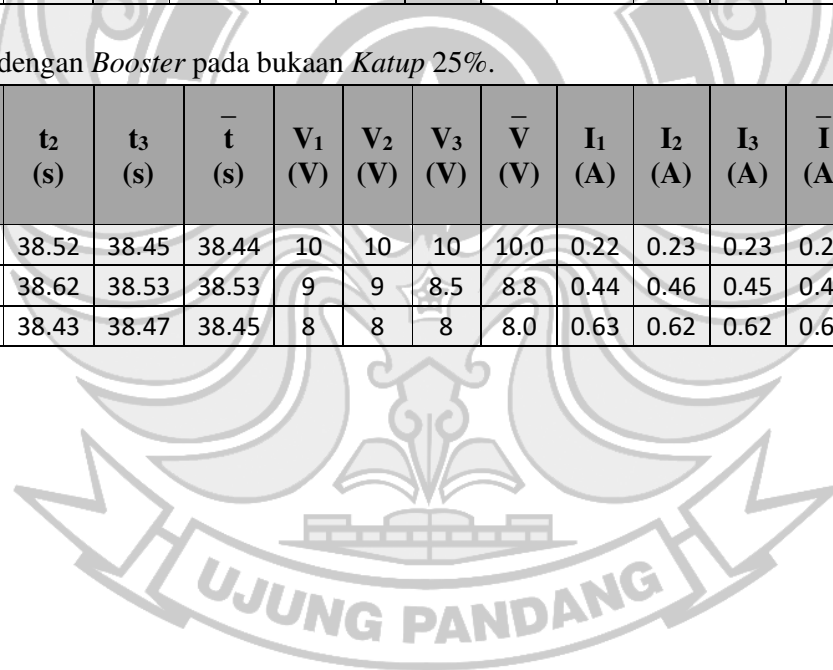
Ket : Beban 25 Watt

Tabel 15. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 50%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	35.29	35.1	35.5	35.3	12.5	12	12	12.2	0.45	0.44	0.44	0.44	175.6	685	2
2	0.016	35.48	35.37	35.1	35.32	12	11	11.5	11.5	0.94	0.95	0.95	0.95	172.5	678	2
3	0.016	35.46	35.7	35.5	35.55	11	11	11	11.0	1.37	1.36	1.36	1.36	170.2	663.5	2

Tabel 16. Data hasil pengujian dengan *Booster* pada bukaan *Katup* 25%.

Jumlah Bohlam	Volume Konstan (m ³)	t ₁ (s)	t ₂ (s)	t ₃ (s)	\bar{t} (s)	V ₁ (V)	V ₂ (V)	V ₃ (V)	\bar{V} (V)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	\bar{I} (A)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tekanan pada Nozle (Bar)
1	0.016	38.34	38.52	38.45	38.44	10	10	10	10.0	0.22	0.23	0.23	0.23	128.87	499.5	1.3
2	0.016	38.43	38.62	38.53	38.53	9	9	8.5	8.8	0.44	0.46	0.45	0.45	125.85	488.6	1.3
3	0.016	38.45	38.43	38.47	38.45	8	8	8	8.0	0.63	0.62	0.62	0.62	121.5	480.8	1.3



Ket : Beban 25 Watt

Lampiran 2 Tabel Hasil Analisis Data

Tabel 1. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 100%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.627	20.26	91.56	3.00	3.28
995.7	4.628	20.26	91.58	2.77	3.03
995.7	4.631	20.26	91.65	2.64	2.88
995.7	4.635	20.26	91.72	2.58	2.82
995.7	4.634	20.26	91.70	2.49	2.72

Tabel 2. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 75%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.548	18.23	81.01	2.49	3.07
995.7	4.547	18.23	80,98	2.35	2.90
995.7	4.547	18.23	80,98	2.29	2.83
995.7	4.546	18.23	80,97	2.17	2.68
995.7	4.547	18.23	80,99	2.12	2.62

Tabel 3. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.383	15.20	65.06	1.95	3.00
995.7	4.382	15.20	65.04	1.84	2.82
995.7	4.381	15.20	65.03	1.76	2.70
995.7	4.378	15.20	64.98	1.67	2.57
995.7	4.380	15.20	65.00	1.64	2.52

Tabel 4. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan *Katup* 25%

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	3.981	10.13	39.40	0.99	2.50
995.7	3.961	10.13	39.20	0.98	2.49
995.7	3.834	10.13	37.93	0.90	2.37
995.7	3.850	10.13	38.09	0.83	2.18
995.7	3.834	10.13	37.94	0.77	2.02

Tabel 5. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 100%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.185	32.42	164.17	6.59	4.02
995.7	5.191	32.42	164.38	6.15	3.74
995.7	5.192	32.42	164.40	5.92	3.60
995.7	5.227	32.42	165.51	5.84	3.53
995.7	5.228	32.42	165.51	5.70	3.45

Tabel 6. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 75%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.151	28.36	142.70	5.12	3.59
995.7	5.153	28.36	142.77	4.99	3.49
995.7	5.159	28.36	142.93	4.67	3.26
995.7	5.156	28.36	142.86	4.54	3.18
995.7	5.151	28.36	142.72	4.32	3.03

Tabel 7. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.533	20.26	89.71	2.96	3.30
995.7	4.530	20.26	89.66	2.77	3.09
995.7	4.500	20.26	89.06	2.66	2.98
995.7	4.501	20.26	89.07	2.60	2.92
995.7	4.493	20.26	88.91	2.47	2.78

Tabel 8. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup* 25%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.163	13.17	53.55	1.49	2.79
995.7	4.153	13.17	53.42	1.40	2.62
995.7	4.161	13.17	53.53	1.39	2.59
995.7	4.160	13.17	53.51	1.33	2.48
995.7	4.162	13.17	53.53	1.31	2.44

Tabel 9. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan

Katup 100%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.627	20.26	91.56	5.35	5.85
995.7	4.628	20.26	91.58	9.94	10.85
995.7	4.631	20.26	91.65	13.92	15.18

Tabel 10. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan

Katup 75%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.548	18.23	81.01	4.24	5.23
995.7	4.547	18.23	80.98	7.98	9.86
995.7	4.547	18.23	80.98	11.21	13.84

Tabel 11. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan

Katup 50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.383	15.20	65.06	3.34	5.13
995.7	4.382	15.20	65.04	6.33	9.73
995.7	4.381	15.20	65.03	8.46	13.01

Tabel 12. Hasil Analisis Data Pengujian Tanpa Pompa *Booster* dengan bukaan

Katup 25%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	3.981	10.13	39.40	1.42	3.60
995.7	3.961	10.13	39.20	1.50	3.83
995.7	3.834	10.13	37.93	3.44	9.07

Tabel 13. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup*

100%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.185	32.42	164.17	8.77	5.34
995.7	5.191	32.42	164.38	16.08	9.78
995.7	5.192	32.42	164.40	23.16	14.09

Tabel 14. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup*

75%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	5.151	28.36	142.70	7.11	4.98
995.7	5.153	28.36	142.77	14.31	10.03
995.7	5.159	28.36	142.93	19.72	13.80

Tabel 15. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup*

50%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.533	20.26	89.71	5.39	6.01
995.7	4.530	20.26	89.66	10.89	12.14
995.7	4.500	20.26	89.06	15.00	16.84

Tabel 16. Hasil Analisis Data Pengujian dengan Pompa *Booster* bukaan *Katup*

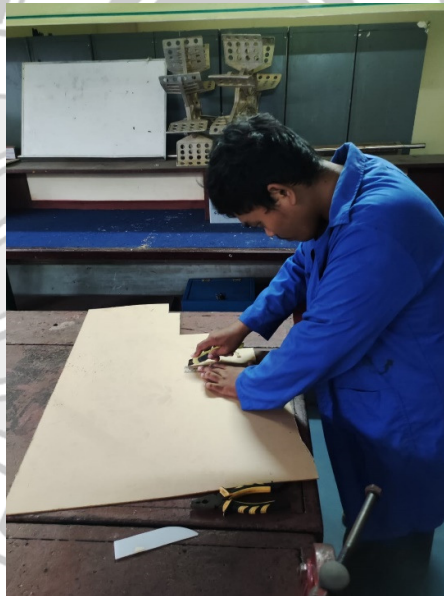
25%.

pair (kg/m ³)	Q (10 ⁻⁴ m ³ /s)	H (m)	Pin (watt)	Pout (watt)	η_s (%)
995.7	4.163	13.17	53.55	2.27	4.23
995.7	4.153	13.17	53.42	3.98	7.44
995.7	4.161	13.17	53.53	4.99	9.32

Lampiran 3 Dokumentasi



Proses pengecatan rangka



Proses pemotongan akrilik



Pengeleman akrilik



Pemasangan pemipaan



Pemasangan bearing pada poros turbin



Proses Pengambilan Data

