

ANALISIS PENGARUH VARIASI DIAMETER INLET NOZZEL DAN SUDUT SUDU PADA TURBIN KAPLAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

David Aksal Johansa¹⁾, Amelia Firsty Adey Wijaya²⁾, Ir. Gatut Priyo Utomo, M.Sc.³⁾
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya^{1,2,3}

*Email : davidaksaljohan@gmail.com¹⁾, ameliefirsty@gmail.com²⁾, gatut_pu@untag-sby.ac.id³⁾

Abstrak— *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro (PLTMH) adalah sebuah sumber energi cadangan berskala kecil yang memberikan banyak keuntungan terutama bagi masyarakat di pedesaan atau di daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan distribusi PLN. Penelitian ini mencoba untuk merancang sebuah pembangkit listrik alternatif di Kawasan Wisata Surodudu Pacet dengan memanfaatkan aliran air sungai melalui turbin jenis Kaplan vertikal. Analisis dilakukan terhadap diameter inlet nozzle dan sudut sudu untuk mengetahui performansi yang dihasilkan dengan menggunakan metode sample random. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi diameter inlet nozzle 0,5 inci dan sudut sudu 60° menghasilkan daya output terbesar, yaitu 63,1 Watt, serta efisiensi PLTMH terbesar, yaitu 55,5% dan efisiensi turbin sebesar 22,1%. Hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60°, diameter inlet nozel 0,5 inci dapat memancarkan air secara sempurna dan tepat mengenai seluruh bagian dari sudu turbin, yang berdampak pada gaya dorong air terhadap turbin. Semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh, semakin tinggi pula hasil daya keluaran yang didapat dari generator.*

Kata-kata kunci: *PLTMH, Energi Air, Aliran Sungai, Turbin Kaplan, Diameter Inlet Nozzel, Sudut Sudu Turbin, Metode Sample Random*

Abstract— *Micro-hydro power plant (PLTMH) is an alternative energy source that has a small scale which provides many benefits, especially for people in rural or inaccessible areas by the PLN distribution network. This study attempts to design an alternative power plant in the Surodudu Pacet Tourist Area by utilizing the flow of river water through Kaplan vertical turbine type. Analysis is performed on the inlet nozzle's diameter and the blade's angle to determine the resulting performance using sample random method. The research results show that the variation of the inlet nozzle's diameter 0.5 inches and the blade angle of 60° produces the largest output power, namely 63,1 Watts, as well as the largest PLTMH efficiency, namely 55,5% and turbine efficiency is 22,1%. This is because at a blade angle of 60°, a 0.5-inci inlet nozzle can shoot water perfectly and accurately hit all the parts of turbine blade, which has an influence on the water thrust force on the turbine. The rpm value obtained is high, then the output from the generator will also be high..*

Keywords: *Micro-Hydro Power Plant (PLTMH), Water Energy, River Flow, Kaplan Turbine, Inlet Nozzle Diameter, Turbine Blade Angle, Sample Random Method.*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik benar-benar menjadi tempat bergantung kehidupan sehari-hari, sama vitalnya seperti makanan, perjalanan, dan pekerjaan. Pembangkit listrik tenaga air yang mengubah air mengalir menjadi energi listrik dan kemudian disalurkan ke masyarakat ialah satu dari sumber energi listrik yang sering digunakan [9]. Sementara persebaran pembangkit listrik tidak selalu mengikuti pertumbuhan penduduk, terutama di daerah pedesaan yang pasokan listriknya masih kurang, konsumsi energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk [4]. Di Indonesia, batu bara masih menempati urutan sebagai bahan alam yang paling banyak dikonsumsi untuk pembangkit listrik, namun karena proses pembentukannya yang lama, bahan bakar fosil ini dapat habis.

Pembangkit listrik mikrohidro merupakan sumber energi alternatif yang sangat membantu dalam menjawab persoalan kebutuhan energi masa depan dan juga ramah lingkungan [2]. Alternatif terbaik, seperti energi air, energi panas bumi, biomassa, dan lainnya, diperlukan untuk menggantikan sumber energi tak terbarukan yang tidak dapat diperbarui di alam. Mahajana yang bermukim di daerah rural dan belum tersentuh oleh jaringan distribusi listrik PLN dapat memperoleh manfaat besar dari pembangkit listrik mikrohidro skala kecil. Masyarakat di pelosok dapat memanfaatkan ketersediaan sumber energi terbarukan seperti ini dengan dibantu akses listriknya.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro ialah jenis dari sumber energi alternatif potensial dan bermanfaat di Indonesia. Namun kontribusinya dalam pembangkitan listrik masih tergolong kecil. Menurut data hingga November 2021, pembangkit listrik di Indonesia mencapai 73.736 Megawatt atau 79,74 gigawatt, dengan kontribusi terbesar dari pembangkit listrik tenaga uap yang mencapai 36,98 gigawatt atau setengah dari total pembangkitan listrik di Indonesia. Kontribusi selanjutnya muncul dari pembangkit listrik bertenaga gas dan uap yang memiliki daya 12,41 gigawatt atau 17 persen dari total pembangkitan, dan pembangkit listrik tenaga gas atau mesin gas dengan 8,54 gigawatt atau 11 persen dari total pembangkitan. Pembangkit listrik tenaga air, minihidro, dan mikrohidro menempati posisi keempat dengan 6,41 gigawatt atau 9 persen dari total pembangkitan listrik di Indonesia[5].

Mikrohidro merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan aliran air untuk memutar turbin yang

terhubung ke generator, sehingga dapat menghasilkan energi listrik [1]. Komponen utama dalam pemanfaatan mikrohidro adalah air, turbin, dan generator [11]. Aliran air dapat berasal dari sungai, irigasi, atau air terjun [12]. Semakin tinggi laju aliran air, maka semakin tinggi Rotasi Per Menit (RPM) yang dihasilkan, sehingga jumlah listrik yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Daerah pegunungan memiliki potensi tinggi untuk pemanfaatan teknologi mikrohidro karena memiliki sumber mata air dan aliran yang sanggup dipakai untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) [3]. Peneliti telah melakukan kajian untuk meningkatkan kualitas sumber daya manusia dalam ilmu pengetahuan agar daerah pedalaman dapat merasakan manfaat energi listrik melalui teknologi mikrohidro.

Pada Tugas Akhir ini peneliti akan melakukan rancang bangun sebuah pembangkit listrik alternatif di Kawasan Wisata Surodudu Pacet Jawa Timur. Dengan memanfaatkan aliran air sungai sebagai sumber tenaganya, rancang bangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan turbin kaplan dengan analisis diameter inlet nozel dan sudut sudu. Rancang bangun sebuah pembangkit listrik alternatif ini disebut dengan mikrohidro karena luaran energi listrik dan aliran arus air yang digunakan tergolong kecil.

II. PENELITIAN TERDAHULU

Efisiensi paling optimum terdapat di diameter nozzle 8 mm yaitu sebesar 41% bersama torsi terbesar sebesar 18789 Nm, dan daya turbin sebesar 154462 W, menurut penelitian Giri (2021) tentang “Pengaruh Variasi Diameter Nozzle Terhadap Efisiensi Pelton Water Turbine” dari ketinggian head 12 meter dan debit air 0,009 m³/s. Nozel dengan diameter 10 mm, daya turbin 32896 W, dan efisiensi 22% memiliki torsi tertinggi sebesar 4002 Nm. Kemudian dengan diameter nozzle 15 mm diperoleh torsi sebesar 779 Nm, daya turbin sebesar 6403 W, dan efisiensi sebesar 20%.

Energi yang dihasilkan Rumah Keong lebih besar dari listrik di sungai, demikian menurut kajian Salamun Alaikum dan Radiq Prakosa mengenai “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Memanfaatkan Rumah Keong” (2019) dengan menggunakan turbin Kaplan. Rumah keong memiliki daya 740 Watt, sedangkan sungai memiliki daya 513 Watt. Pengaruh ketinggian air terjun dan kecepatan aliran air keduanya berkontribusi terhadap perbedaan ini. Karena head yang ada sesuai dengan tabel parameter pada mesin hidrolik, turbin Kaplan digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, output percobaan beban mencapai 390 Watt.

Sarjono (2021) menggunakan instalasi turbin Pelton mungil dengan tiga nozel untuk melakukan penelitian tentang “Pengaruh Variasi Diameter dan Jarak Nozzel Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Pelton”. Nozzel yang digunakan berdiameter antara 4 hingga 6 milimeter, dengan jarak nozzel 80 hingga 100 milimeter. Selain itu, kisaran kecepatan rotasi yang digunakan adalah 300 hingga 700 rpm. Ditunjukkan bahwa dari hasil penelitian diperoleh jika diameter nozzel 6 mm dengan jarak di antara nozzel dan sudu berukuran 80 mm mampu memproduksi turbin dengan daya maksimum dan efisiensi masing-masing sebesar 30,00 watt dan 34,79%. Pengaruh dari pengalokasian jarak nozzel 80 mm, 90 mm, dan 100 mm mulai terlihat setelah mencapai

putaran 700 rpm, namun ditemukan juga bahwa perbedaan jarak nozzel tidak berpengaruh pada daya yang dihasilkan antara 300 dan 700 rpm. Ini karena jet air berkecepatan tinggi, yang mempercepat putaran turbin.

Min Min Oo (2019) melakukan penelitian tentang “Design of 50 kW Kaplan Turbine for Micro hydro Power Plant”. Dalam penelitiannya, generator yang dipakai memiliki daya sebesar 50 kW dengan head 8 meter. Pada desain turbin Kaplan yang dirancang, jari-jari runnernya sebesar 228,25 mm, kecepatan runnernya sebesar 826,12 RPM, jumlah sudu empat buah, dan jumlah guide vane-nya 11. Sedangkan head yang dipertimbangkan adalah 2 meter hingga 9 meter. Dari hasil yang didapat, sudut runner yakni sebesar 42,03° dan sudut guide vane dari turbin propellernya 64,33°. Dimensi dari runner turbin propeller yaitu 0,4565 meter diameter luar, dan 0,2099 meter diameter dalam. Pada turbin Kaplan, sudut inlet dari blade runner harus disesuaikan sebesar 20° dan sudut guide vane juga harus disesuaikan 75° pada head 2 meter. Sedangkan sudut-sudut pada head 9 meter adalah 43° dan 52°. Untuk diameter as roda sebesar 135 mm di luar, dan 108 mm untuk di dalam. Selain itu, efisiensi pada propeller turbin Kaplan ini konstan karena sudut runner dan sudut guide vane tidak disesuaikan sebanyak turbin Kaplan.

Mafruddin (2017) melakukan penelitian tentang “Studi Eksperimental Sudut Nozzel Dan Sudu Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-flow” menggunakan metode eksperimental. Variasi sudut nozzle yang digunakan yakni 15°, 30°, dan 45°. Sedangkan untuk variasi sudut sudu yang digunakan yakni 14°, 16°, dan 18°. Spesifikasi turbin yang digunakan yaitu diameter luarnya sebesar 0,2885 meter, dengan sudunya berjumlah 18, lalu tebal nozzle-nya 0,025 meter. Untuk debit dari aliran air yang dimanfaatkan yaitu 0,02487 m³/s. Kemudian, penelitian ini membuktikan bahwasanya sudut nozzel dan sudut sudu memiliki imbas yang vital pada performansi turbin. Penelitian ini menunjukkan jika efisiensi turbin paling optimal yaitu di angka 77% yang tercapai pada sudut nozzel 15° dan sudut sudu 16°. Namun, semakin meningkatnya sudut nozzel, maka akan menyebabkan penurunan efisiensi dari turbin. Persamaan empirik untuk efisiensi turbin yang didapatkan dari hasil analisis regresi yakni = $1,00 - (0,00539 \cdot \alpha - 0,0112 \cdot \phi)$.

Khan (2021) melakukan penelitian tentang “Modeling, Simulation, and Fabrication of Micro Kaplan Turbine”. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi parameter desain optimal turbin dengan cara memodelkan secara analitis dan simulasi. Selain itu, ketergantungan daya yang dihasilkan pada fitur-fitur turbin Kaplan yang berbeda juga diteliti. Kemudian, dari simulasi yang dilakukan didapatkan bahwa diameter runner turbin, spiral casing, dan dimensi draft tube bervariasi tergantung dari head dan debit yang tersedia. Dengan model analitis dan hasil simulasi yang telah dirancang, maka dirancanglah sebuah turbin Kaplan untuk kondisi saluran air yang memiliki debit 0,35 m³/detik dan head 2 meter, serta diprediksi akan menghasilkan daya sebesar 5,8 kW. Berdasarkan simulasi juga, dibuat pula sebuah turbin Kaplan mikro dengan runner berdiameter 34 cm dengan empat buah runner dan 10 guide vane. Turbin Kaplan yang dikembangkan terpasang sementara di lokasi saluran air dan berhasil menghasilkan tingkat daya yang dapat diterima pada head 0,92 meter. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu turbin Kaplan memiliki

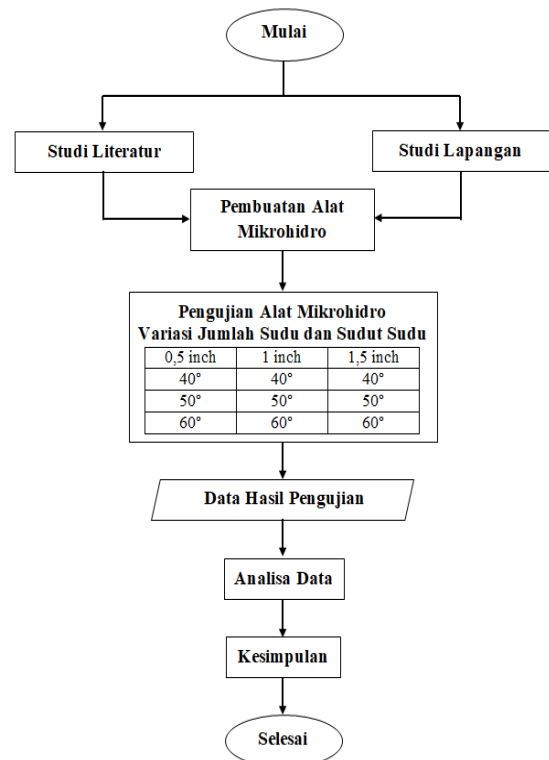
kemampuan istimewa karena dapat menghasilkan daya dari aplikasi head yang rendah. Selain itu, turbin Kaplan mudah dipasang dan dioperasikan di setiap lokasi yang memiliki head rendah dan debit tinggi sehingga lebih cocok untuk pembangkit listrik di saluran air. Model analitis dikembangkan untuk daya keluaran poros pada turbin dan parameter desain lainnya, seperti runner, hub, bilah runner, guide vane, casing, dan draft tube. Simulasi dilakukan untuk kondisi head dan debit yang berbeda untuk memprediksi parameter desain yang dioptimalkan untuk turbin Kaplan mikro. Berdasarkan pemodelan dan simulasi, sebuah turbin Kaplan mikro dibuat untuk kanal air yang punya head 2 m dan debit 0,35 m³/s. Turbin yang dikembangkan juga diuji di salah satu tempat di saluran air. Meskipun head dan debit yang tersedia sedikit pada waktu tertentu, kinerja turbin masih memuaskan dan dengan kondisi input tersebut efisiensi hidrolis dan efisiensi keseluruhan untuk turbin yang dikembangkan sekitar 70% dan 55% masing-masing. Selain itu, turbin mampu menghasilkan tegangan 180 V dan dengan itu beberapa lampu dan kipas pedestal berhasil dioperasikan.

Prabawa (2016) melakukan penelitian tentang “Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Nozzle terhadap Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudut Datar”. Tujuan dari penelitian yaitu untuk melihat secara jelas daya serta efisiensi kincir air sudut datar di mana pembuatannya memakai printer 3D. Daya serta efisiensi dari kincir tersebut lalu dicocokkan dari penggerakannya, yaitu air. Keadaan ini dilakukan untuk mengetahui sebab-akibat apabila daya dan efisiensi yang dimanifestasikan kurang sesuai dengan teoritisnya. Kemudian, kincir diujicobakan melalui putaran yang diukur dan arus listrik yang dihasilkan oleh alternator yang dipasang sejajar dengan poros kincir. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu kincir menghasilkan daya 190 Watt untuk nozzle 8 mm, 120 Watt untuk nozzle 10 mm, 12 Watt untuk nozzle 15 mm, dan 6 Watt untuk nozzle 20 mm. Oleh hal ini, maka jika ukuran nozzle semakin besar, daya yang dihasilkan kincir akan semakin kecil. Penurunan daya diakibatkan karena menurunnya energi kinetik yang dihasilkan air. Penyebabnya yaitu karena energi yang diterima kincir tidak dapat dimanfaatkan secara optimal. Dari data yang didapat, efisiensi pada nozzle berukuran 8 mm adalah 10,9%, untuk nozzle 10 mm adalah 6,81%, untuk nozzle 15 mm adalah 0,68%, dan untuk nozzle 20 mm adalah 0,34%. Nilai persentase efisiensi yang terlihat menurun ini disebabkan karena energi yang dibutuhkan untuk memutar kincir semakin kecil. Kemudian, untuk nozzle 8 mm, persentase jumlah energi yang hilang adalah 56%. Lalu, pada nozzle 10 mm, persentase jumlah energi yang hilang adalah 64,8%. Untuk nozzle 15 mm, persentase jumlah energi yang hilang adalah 88%. Untuk nozzle 20 mm, persentase jumlah energi yang hilang adalah 91%. Hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa jika daya yang dihasilkan menurun, maka persentase energi yang hilang semakin besar. Sebaliknya pula, apabila energi yang dipakai semakin besar, maka persentase energi yang hilang semakin kecil.

Wahad Rahmann dan Farid Khan (2019) melakukan penelitian tentang “Modeling and Simulation of Kaplan Turbine”. Penelitian ini menunjukkan pemodelan dan simulasi turbin Kaplan untuk pembangkit listrik pada head air yang rendah. Untuk turbin Kaplan mikro, pemodelan analitis dan simulasi dilakukan untuk memperkirakan parameter desain optimal. Selain itu, ketergantungan daya

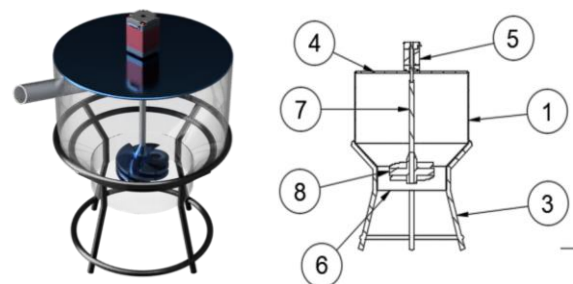
keluaran pada berbagai parameter Kaplan turbine juga diteliti selama simulasi. Ditemukan bahwa head air dan debit aliran adalah faktor utama yang mempengaruhi daya outputnya. Diameter runner dari turbin bervariasi dengan variasi head dan debit. Untuk head 2 meter dan debit 0,35 m³/s, parameter desain untuk turbin Kaplan yang menghasilkan daya 6,68 kW diperoleh dengan model analitis yang dibuat. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini yaitu turbin Kaplan dapat beroperasi pada head yang rendah. Selain itu, pemasangan turbin ini juga tergolong mudah dan dapat dioperasikan pada lokasi yang memiliki head rendah dan debit yang tinggi. Model analitis disajikan untuk daya keluaran dan parameter desain lainnya. Simulasi dilakukan untuk kondisi head dan debit yang berbeda untuk memprediksi parameter desain yang dapat dioptimalkan untuk turbin Kaplan mikro. Lalu, dari simulasi yang dilakukan untuk pembangkit daya 6,68 kW menunjukkan bahwa diameter runner 0,34 m dengan 4 bilah rotor dan dengan 10 bilah pemandu, mampu menghasilkan daya yang diinginkan dari debit aliran 0,35 m³/s dengan kepala 2 m.

III. METODE



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat Uji dan Perlengkapan



Gambar 2. Instalasi Alat

Keterangan:

1. Wadah Penampung Air
2. Saluran Inlet
3. Penyangga Wadah
4. Penutup Wadah
5. Generator AC
6. Saluran Outlet
7. Poros
8. Turbin

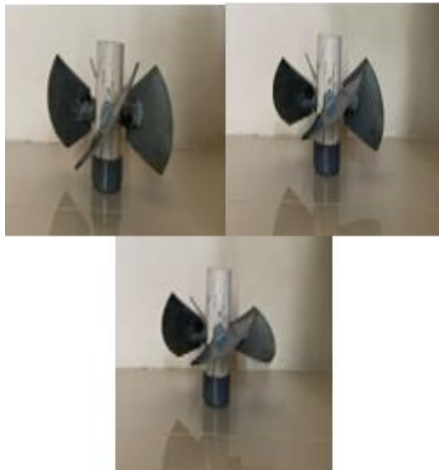
Pada pembuatan alat mikrohidro akan ditunjukkan perancangan desain dan alat jadi yang digunakan dalam pengujian serta terdapat variasi dan variabel yang digunakan dalam mendukung penelitian agar didapatkan data yang tepat. Berikut spesifikasi alat mikrohidro yang digunakan untuk pengujian.

- a. Variasi diameter inlet nozzel : 0,5 inci, 1 inci, dan 1,5 inci



Gambar 3. Variasi Diameter Inlet Nozzel

- b. Variasi Sudut Sudu : 40°, 50°, 60°



Gambar 4. Variasi Sudut Sudu Turbin

- c. Generator AC Permanen magnet 200V 500W 1500 Rpm



Gambar 5. Generator

Alat ukur yang akan dipakai pada pengujian ini yaitu sebagai berikut :

1. Tachometer untuk mengukur RPM



Gambar 6. Tachometer

2. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus listrik



Gambar 7. Multimeter

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini memakai *sampel random method* yang mana masing-masing dari variabelnya diuji sejumlah tiga kali dengan waktu 5 menit untuk tiap pengujian. Variabel yang digunakan adalah Diameter inlet nozzel yaitu 0,5 inci, 1 inci, dan 1,5 inci. Serta sudut sudu turbin yaitu 40°, 50°, dan 60°. Tata cara yang dilakukan dalam pengujian antara lain :

1. Pasang Turbin dan Inlet nozzel pada alat mikrohidro
2. Alirkan air dengan pipa menuju rumah turbin.
3. Dilakukan monitoring terhadap sudu gerak stabil dan tidak menyentuh draft tube.
4. Apabila putaran turbin sudah konstan, maka dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh Generator.
5. Mencatat data pengujian yang diambil untuk dimasukkan ke dalam tabel data pengujian.
6. Setelah pengambilan data selesai lepaskan pipa aliran air pada saluran inlet.
7. Lakukan langkah sebelumnya untuk pengambilan data percobaan selanjutnya

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil dan pembahasan hendak ditunjukkan hasil pengambilan data saat pengujian serta pembahasan mengenai analisa jumlah sudu dan sudut sudu tubin kaplan

terhadap performa pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Sistem pengujiannya dilakukan dengan menggunakan perhitungan rata-rata. Berikut hasil data pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 1. Data hasil pengujian metode sample random

Kode	Random	Diameter Inlet	Sudut Sudu	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)
6	B3	0,5	50	363	47,6	0,7
10	D1	1	40	313	33,1	0,27
20	G2	1,5	40	302	29,5	0,25
17	F2	1	60	370	48,2	0,99
27	I3	1,5	60	357	43,3	0,9
15	E3	1	50	343	43	0,56
18	F3	1	60	369	48	0,97
16	F1	1	60	372	48,3	1,01
14	E2	1	50	358	44,4	0,6
4	B1	0,5	50	360	47,3	0,66
11	D2	1	40	318	33,5	0,31
1	A1	0,5	40	335	37,6	0,37
25	I1	1,5	60	354	43	0,87
3	A3	0,5	40	331	37,1	0,34
9	C3	0,5	60	393	55,2	1,19
12	D3	1	40	315	33,3	0,29
26	I2	1,5	60	355	43,1	0,88
2	A2	0,5	40	330	37,1	0,33
5	B2	0,5	50	362	47,5	0,68
21	G3	1,5	40	304	29,7	0,27
7	C1	0,5	60	383	54,4	1,13
13	E1	1	50	344	43,1	0,57
24	H3	1,5	50	333	39,3	0,51
8	C2	0,5	60	385	54,5	1,14
22	H1	1,5	50	330	39,1	0,49
23	H2	1,5	50	327	38,8	0,46
19	G1	1,5	40	301	29,4	0,24

Tabel 2. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 0,5 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter Inlet	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
0,5 Inchi	40	Pengujian 1	335	37,6	0,37
	40	Pengujian 2	330	37,1	0,33
	40	Pengujian 3	331	37,1	0,34
	Rata-rata		332	37,27	0,35
	50	Pengujian 1	360	47,3	0,66
	50	Pengujian 2	362	47,5	0,68
	50	Pengujian 3	363	47,6	0,7
	Rata-rata		361,7	47,47	0,68
	60	Pengujian 1	383	54,4	1,13
	60	Pengujian 2	385	54,5	1,14
	60	Pengujian 3	393	55,2	1,19
	Rata-rata		387	54,7	1,15

Tabel 3. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 1 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter Inlet	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1 Inchi	40	Pengujian 1	313	33,1	0,27
	40	Pengujian 2	318	33,5	0,31
	40	Pengujian 3	315	33,3	0,29
	Rata-rata		315,3	33,3	0,29
	50	Pengujian 1	344	43,1	0,57
	50	Pengujian 2	358	44,4	0,6
	50	Pengujian 3	343	43	0,56
	Rata-rata		348,3	43,5	0,58
	60	Pengujian 1	372	48,3	1,01
	60	Pengujian 2	370	48,2	0,99
	60	Pengujian 3	369	48	0,97
	Rata-rata		370,3	48,2	0,99

Tabel 4. Data hasil rata-rata pada diameter inlet nozzel 1,5 inci dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Diameter Inlet	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
1,5 Inchi	40	Pengujian 1	301	29,4	0,24
	40	Pengujian 2	302	29,5	0,25
	40	Pengujian 3	304	29,7	0,27
	Rata-rata		302,3	29,5	0,25
	50	Pengujian 1	330	39,1	0,49
	50	Pengujian 2	327	38,8	0,46
	50	Pengujian 3	333	39,3	0,51
	Rata-rata		330	39,1	0,49
	60	Pengujian 1	354	43	0,87
	60	Pengujian 2	355	43,1	0,88
	60	Pengujian 3	357	43,3	0,9
	Rata-rata		355,3	43,1	0,88

Data hasil pengujian selanjutnya akan dilakukan analisa perhitungan agar didapatkan nilai performa terbaik. Langkah pertama dilakukan pengukuran debit aliran air menggunakan metode apung, dengan prinsip kecepatan aliran diukur dengan meletakkan pelampung diatas aliran air selanjutnya mengukur waktu yang dibutuhkan pelampung untuk bergerak setiap meternya [8].

Perhitungan kecepatan aliran pada saat air melewati pipa dapat dihitung menggunakan rumus :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (1)$$

Keterangan :

- v = Kecepatan aliran (m/s)
- g = Gravitasi (9,81 m²/s)
- H = Head (m)

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 8,86 \text{ m/s}$$

Perhitungan luas penampang pipa utama[7] :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{in}^2 \quad (2)$$

Keterangan :

- A = Luas penampang (m²)
- D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2 = 0,0028 \text{ m}^2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel[8] diameter 0,5 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (3)$$

Keterangan :

- A = Luas penampang (m²)
- D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0172^2 = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rata - rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0001^2}{2} = 0,0015 \text{ m}^2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel diameter 1 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (4)$$

Keterangan :

- A = Luas penampang (m²)
- D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0254^2 = 0,0005 \text{ m}^2$$

$$A \text{ rata - rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0005^2}{2} = 0,0017 \text{ m}^2$$

Perhitungan luas penampang pada aliran air menuju pipa utama ke pipa nozzel diameter 1,5 inch.

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D_{out}^2 \quad (5)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m²)

D = Diameter (m)

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,0381^2 = 0,0011 \text{ m}^2$$

$$A_{rata-rata} = \frac{0,0028^2 + 0,0011^2}{2} = 0,0020 \text{ m}^2$$

Setelah didapatkan data tersebut maka dapat menentukan debit aliran air [7] dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = v \cdot A \quad (6)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0028 \text{ m}^2 = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 0,5 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \quad (7)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0015 \text{ m}^2 = 0,013 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 1 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \quad (8)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0017 \text{ m}^2 = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Diameter pipa Inlet Nozzel 1,5 Inch

$$Q = v \cdot A_{rata-rata} \quad (9)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/s)

v = Kecepatan aliran (m/s)

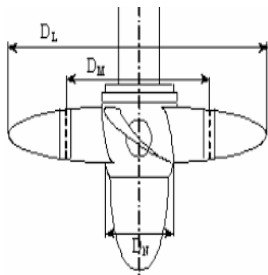
A_{rata-rata} = Luas penampang rata-rata (m²)

$$Q = 8,86 \text{ m/s} \cdot 0,0020 \text{ m}^2 = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

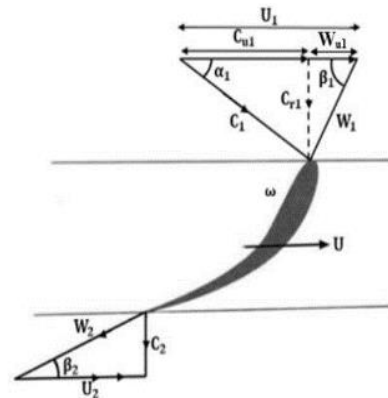
Berdasarkan profil turbin kaplan yang telah dirancang memiliki data-data sebagai berikut :

- Diameter runner (D_N) = 0,06 m
- Diameter luar (D_L) = 0,24 m
- Diameter tengah (D_M) =

$$\frac{D_L + D_N}{2} = \frac{0,24 + 0,06}{2} = 0,15 \text{ m}$$



Gambar 8. Sketsa ukuran turbin kaplan



Gambar 9. Segitiga Kecepatan

Kecepatan aliran fluida yang melewati sudu turbin, maka kecepatan dihitung aliran air dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran menuju turbin [10]

$$C_{r1} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(D_L^2 - D_N^2)} \quad (10)$$

Keterangan :

C_{r1} = Kecepatan aliran melewati turbin(m/s)

Q = Debit air (m³/s)

2. Kecepatan Keliling

$$U_1 = U_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60} \quad (11)$$

Keterangan :

U = Kecepatan keliling (m/s)

D = Diameter inlet (m)

N = Putaran turbin (rpm)

3. Kecepatan relatif

$$W_1 = W_2 = C_1 - U \quad (12)$$

Keterangan :

W₁ = Kecepatan relatif (m/s)

C₁ = Kecepatan aliran (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

4. Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling [10]

$$W_{u1} = \frac{C_{r1}}{\tan \beta_1} \quad (13)$$

Keterangan :

W_{u1} = Kecepatan pusaran air (m/s)

C_{r1} = Kecepatan aliran melewati turbin(m/s)

β₁ = Sudut sudu sisi masuk (°)

5. Kecepatan tangensial

Sisi masuk

$$C_{u1} = U - W_{u1} \quad (14)$$

Keterangan :

C_{u1} = Kecepatan tangensial masuk (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

W_{u1} = Kecepatan pusaran air (m/s)

Sisi keluar (diasumsikan)

$$C_{u2} = 0 \quad (15)$$

Keterangan :

C_{u2} = Kecepatan tangensial keluar (m/s)

6. Gaya (F)

$$F = \rho \cdot Q \cdot (C_{u1} - C_{u2}) \quad (16)$$

Keterangan :

- F = Gaya tangensial (N)
- ρ = Berat jenis air (1000 kg/m³)
- Q = Debit (m³/s)
- C_{u1} = Kecepatan tangensial sisi masuk (m/s)
- C_{u2} = Kecepatan tangensial sisi keluar (m/s)

Tabel 5. Hasil Perhitungan Segitiga Kecepatan

No	Perhitungan	Diameter Inlet Nozzel								
		0,5 Inchi			1 Inchi			1,5 Inchi		
		Sudut Sudu			Sudut Sudu			Sudut Sudu		
40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°		
1	Luas penampang pipa nozzel	0,0015	0,0015	0,0015	0,0017	0,0017	0,0017	0,0020	0,0020	0,0020
2	Kecepatan Aliran turbin (C _{t1})	0,31	0,31	0,31	0,35	0,35	0,35	0,41	0,41	0,41
3	Kecepatan keliling (U)	2,61	2,84	3,04	2,48	2,73	2,91	2,37	2,59	2,79
4	Kecepatan relatif (W _t)	6,25	6,02	5,82	6,38	6,12	5,95	6,49	6,27	6,07
5	Kecepatan relatif terhadap kecepatan keliling (W _{u1})	0,37	0,26	0,18	0,42	0,29	0,20	0,49	0,35	0,24
6	Kecepatan tangensial masuk (C _{u1})	2,24	2,58	2,86	2,06	2,44	2,71	1,88	2,24	2,55
7	Gaya (F)	56	64,6	71,6	51,6	61,1	67,7	47,1	56,1	63,8

1. Torsi (T) [6]

$$T = F_t \cdot r \quad (17)$$

Keterangan :

- T = Torsi (N.m)
- F_t = Gaya tangensial (N)
- r = Jari-jari runner (m)

2. Kecepatan sudut (ω)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60} \quad (18)$$

Keterangan :

- ω = Kecepatan putaran sudut (rad/s)
- n = Putaran turbin (rpm)
- π = Konstanta (3,14)

3. Rasio kecepatan (Φ) [12]

$$\Phi = \frac{N \cdot D}{84,6 \cdot \sqrt{H}} \quad (19)$$

Keterangan :

- ϕ = Rasio kecepatan
- N = Putaran turbin (rpm)
- D = Diameter turbin (m)
- H = Head (m)

4. Kecepatan satuan (N_u) [12]

$$N_u = \frac{N \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (20)$$

Keterangan :

- N_u = Kecepatan satuan (rpm)
- n = Putaran turbin (rpm)
- D = Diameter Turbin (m)
- H = Head (m)

5. Kecepatan spesifik (N_s) [12]

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (21)$$

Keterangan :

- N_s = Kecepatan spesifik (rpm)
- n = Putaran turbin (rpm)
- Q = Daya output turbin (kW)
- H = Head (m)

Tabel 6. Hasil perhitungan kecepatan turbin

No	Perhitungan	Diameter Inlet Nozzel								
		0,5 Inchi			1 Inchi			1,5 Inchi		
		Sudut Sudu			Sudut Sudu			Sudut Sudu		
40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°		
1	Kecepatan sudut (ω)	34,7	37,9	40,5	33,0	36,5	38,8	31,6	34,5	37,2
2	Torsi (T)	4,20	4,84	5,37	3,87	4,59	5,08	3,52	4,21	4,79
3	Rasio (Φ)	0,29	0,32	0,34	0,28	0,31	0,33	0,27	0,29	0,32
4	Kecepatan Satuan (N _u)	24,9	27,1	29	23,7	26,1	27,8	22,7	24,8	26,7
5	Kecepatan Spesifik (N _s)	18,6	20,2	21,6	17,6	19,5	20,7	16,9	18,4	19,9

1. Daya turbin (P_t) [6]

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot U \cdot (C_{u1} - C_{u2}) = T \cdot \omega \quad (22)$$

Keterangan :

- P_t = Daya turbin (Watt)
- ρ = Densitas (1000 kg/m³)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- U = Kecepatan keliling (m/s)
- C_{u1} = Kecepatan tangensial sisi masuk (m/s)
- C_{u2} = Kecepatan tangensial sisi keluar (m/s)
- T = Torsi (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2. Daya generator (P_g)

$$P_g = V \cdot I \quad (23)$$

Keterangan :

- P_g = Daya output generator (Watt)
- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

3. Daya air (P_a)

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (24)$$

Keterangan :

- P_a = Daya potensi air (Watt)
- ρ = Densitas (1000 kg/m³)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- H = Head (meter)

4. Efisiensi turbin (η_t)

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \quad (25)$$

Keterangan :

- η_t = Efisiensi turbin (%)
- P_t = Daya turbin (Watt)
- P_a = Daya potensi air (Watt)

5. Efisiensi PLTMH (η)

$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \times 100\% \quad (26)$$

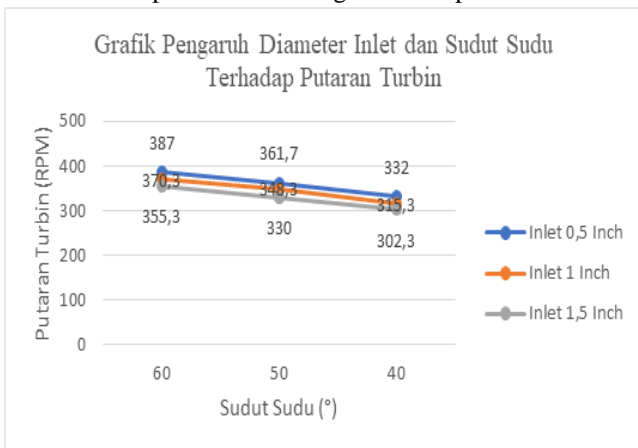
Keterangan :

- η = Efisiensi PLTMH (%)
- P_g = Daya generator (Watt)
- P_t = Daya turbin (Watt)

Tabel 7. Hasil Perhitungan Daya dan Efisiensi PLTMH

Diameter Inlet Nozzel	Sudut sudu	RPM	Daya air (watt)	Daya turbin (watt)	Daya generator (watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
0,5 Inchi	40°	332	513,2	76,3	12,9	14,9	16,9
	50°	361,7	513,2	95,8	32,3	18,7	33,7
	60°	387	513,2	113,6	63,1	22,1	55,5
1 Inchi	40°	315,3	579,2	75,3	9,7	13	12,8
	50°	348,3	579,2	98,6	25,1	17	25,5
	60°	370,3	579,2	116,1	47,7	20	41,1
1,5 Inchi	40°	302,3	689,3	78,3	7,5	11,4	9,6
	50°	330	689,3	102,1	19	14,8	18,6
	60°	355,3	689,3	124,9	38,1	18,1	30,5

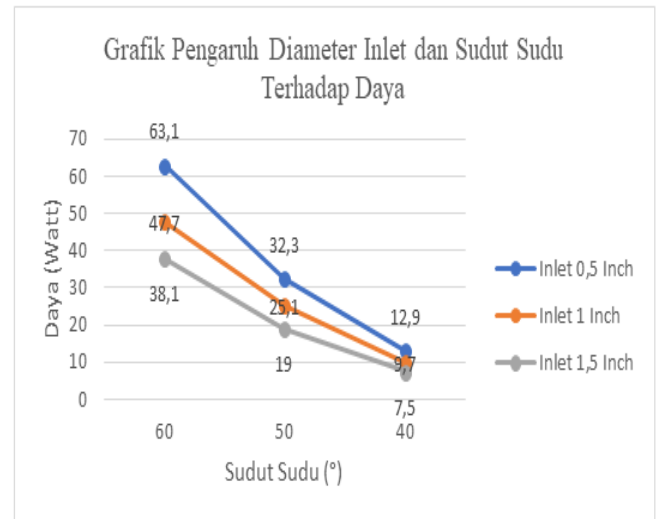
Dari tabel hasil perhitungan selanjutnya akan dijadikan kedalam bentuk grafik agar memudahkan untuk memudahkan pemahaman mengenai hasil penelitian.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap RPM

Dari gambar Grafik 1 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 387 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 361,7 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 332 RPM. Pada garis berwarna oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 370,3 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 348,3 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 315,3 RPM. Pada garis berwarna abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran generator 355,3 RPM, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran generator 330 RPM, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran generator 302,3 RPM.

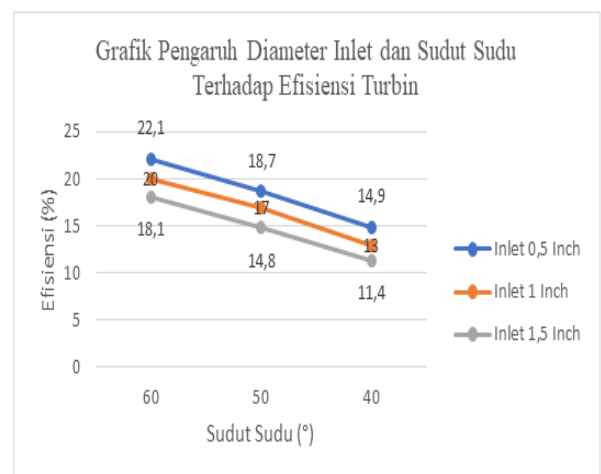
Hasil analisis dari grafik di atas adalah semakin besar diameter inlet dan semakin kecil sudut sudunya, maka menghasilkan putaran generator yang semakin kecil pula. Faktor yang mendasarinya yakni akibat adanya pengaruh dari besaran sudut sudu dan diameter inlet.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap Daya

Dari gambar Grafik 2 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 63,1 Watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 32,3 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 12,9 watt. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 47,7 Watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 25,1 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 9,7 Watt. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan daya listrik 38,1 watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya listrik 19 Watt, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan daya listrik 7,5 Watt.

Hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60° air yang memancar dapat tepat mengenai seluruh bagian sudu turbin. Kondisi tersebut tentunya berdampak pada gaya dorong air berkenaan dengan turbin sehingga memproduksi nilai putaran yang optimal. Kemudian berdasarkan grafik di atas, diameter inlet 0,5 Inchi dengan sudut sudu 60° menghasilkan gaya dorong paling optimal untuk membuat turbin berputar, sehingga daya yang dihasilkan pun besar. Konklusi yang didapat yakni semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh maka semakin tinggi pula hasil output dari generator yang didapat, dalam hal ini yakni nilai dayanya.

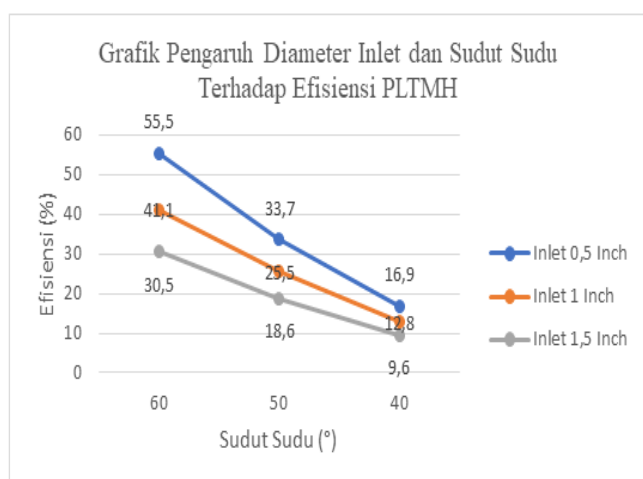


Gambar 3. Grafik Pengaruh variabel Terhadap Efisiensi Turbin

V. KESIMPULAN

Dari gambar 3 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 22,1 %, pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 18,7 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin sebesar 14,9 %. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 20 %, pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 17 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin sebesar 13 %. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter inlet 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° memproduksi efisiensi Turbin 18,1 %, pada sudut sudu 50° memproduksi efisiensi Turbin 14,8 %, dan pada sudut sudu 40° memproduksi efisiensi Turbin 11,4 %.

Hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan putaran turbin yang optimal dan nilai rpm yang tinggi. Faktor ini sangat berdampak pada output listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Variabel Terhadap Efisiensi PLTMH

Dari gambar 4 diperoleh data bahwasannya pada garis berwarna biru yakni diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 55,5%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 33,7 %, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 16,9%. Pada garis berwarna Oranye yaitu diameter inlet 1 Inchi pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 41,1%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 25,5%, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 12,8%. Pada garis berwarna Abu-abu yaitu diameter inlet 1,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi PLTMH 30,5%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi PLTMH 18,6 %, dan pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi PLTMH 9,6%.

Hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 Inchi dan sudut sudu 60° menghasilkan air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga akan memaksimalkan gaya dorong air berkenaan dengan turbin dan akan memproduksi putaran yang tinggi. Semakin tinggi putaran yang memproduksi akan membuat daya output dari generator juga semakin besar dan efisiensi PLTMH akan semakin meningkat.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis perhitungan data di atas maka dapat disimpulkan PLTMH dengan variasi diameter inlet nozel dan sudut sudu menghasilkan output paling besar terdapat pada variasi sudut sudu 60° dan diameter inlet nozel 0,5 inci menghasilkan daya output listrik sebesar 63,1 watt, hal ini dikarenakan pada diameter inlet 0,5 inci hal ini dikarenakan pada nilai sudut sudu 60° diameter inlet nozel 0,5 inci memancarkan air secara sempurna tepat mengenai seluruh bagian dari sudu turbin. Kondisi tersebut tentunya akan berdampak pada gaya dorong air terhadap turbin. Konklusi yang didapat yakni semakin tinggi nilai rpm yang diperoleh maka semakin tinggi pula hasil output dari generator yang didapat.

Pada pengujian ini didapatkan efisiensi turbin dan PLTMH terbaik pada sudut sudu 60° dan diameter inlet 0,5 inci yaitu 22,1% untuk efisiensi turbin, dan 55,5% untuk efisiensi PLTMH. Berdasarkan hasil data hasil perhitungan diperoleh bahwa semakin besar nilai efisiensi, akan membuat daya yang diproduksi semakin besar pula.

REFERENSI

- [1] S. Alaikum and R. Prakosa, "Rancang bangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan rumah keong," *Univ. 17 Agustus 1945 Surabaya*, vol. 9, no. 2, p. 9, 2019, [Online]. Available: <http://repository.untag-sby.ac.id/id/eprint/1114>.
- [2] F. Dietzel, *Turbin, Pompa, dan Kompresor*, 4th ed. Jakarta: Erlangga, 1992.
- [3] R. S. H. P. Giri, "Pengaruh Variasi Diameter Nozzle Terhadap Efisiensi Turbin Air Pelton," Universitas Sanata Dharma, 2021.
- [4] R. Holland, *Micro Hydro Electric Power*, 1st ed. London, England: Intermediate Technology Publications, 1983.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Keteragalistrikan, "Statistik Kelistrikan 2020," *Kementerian Energi dan Sumber Daya Miner. Direktorat Jenderal Keteragalistrikan*, vol. 13, no. April, p. 122, 2021.
- [6] M. Mafruddin, A. Amrul, and A. Amrizal, "Studi Eksperimental Sudut Nozzel Dan Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Cross-flow," *Mechanical*, vol. 8, no. 1, pp. 24–33, 2016, [Online]. Available: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/mech/article/view/4/pdf>.
- [7] M. M. Oo, "Design of 50 kW Kaplan Turbine for Micro hydro Power Plant," *Iconic Res. Eng. Journals (IRE Journals)*, vol. 3, no. 2, pp. 264–270, 2019, [Online]. Available: <http://www.irejournals.com/formatedpaper/1701517.pdf>.
- [8] H. P. Prabawa, D. Mugisidi, and O. Heriyani, "Pengaruh Variasi Ukuran Diameter Nozzle terhadap Daya dan Efisiensi Kincir Air Sudu Datar," *Pros. Semnastek*, no. November, 2016.
- [9] A. Pudjanarsa and D. Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, 3rd ed. Surabaya: Penerbit ANDI, 2012.
- [10] S. Sarjono, "Pengaruh Variasi Diameter dan Jarak Nozzel Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Pelton," *J. Teknol.*, vol. 14, no. 2, pp. 180–185, 2021, doi: 10.34151/jurtek.v14i2.3716.
- [11] F. Ullah Khan, W. Ur Rahman, and M. Masood Ahmad, "Modeling, Simulation, and Fabrication of Micro Kaplan Turbine," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 10, no. 06, pp. 64–76, 2021, [Online]. Available: www.ijstr.org.
- [12] W. Rahmann and F. Khan, "Modeling and Simulation of Kaplan Turbine Sustainability in Process Industry," in *4th conference on sustainability in process industry*, 2020, no. September, p.