

ANALISIS DAN PERBANDINGAN SEGITIGA KERJA: TURBIN SUDU SETENGAH LINGKARAN, SUDU SEGITIGA DAN SUDU SIRIP UNTUK MENGHASILKAN RPM YANG TERTINGGI

Gregory Rama Darantiah Ruing¹, Antonius Ibi Weking², Lie Jasa³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : jerryrama@gmail.com¹, tony@unud.ac.id², liejasa@unud.ac.id³

Abstrak

Saat ini pembangkit listrik memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap sumber energi seperti solar, gas alam dan batubara, sedangkan sumber energi tersebut keberadaannya di alam sudah semakin langka, situasi ini mendorong dikembangkannya energi terbarukan salah satunya adalah pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari luas segitiga kerja terhadap rpm tertinggi yang dihasilkan. jatuhnya air pada kincir diatur dari sudut posisi nozzle 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° dan dari sudut nozzle 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° dan 40° pada turbin sudu setengah lingkaran, turbin sudu segitiga, dan turbin sudu sirip. Sudu turbin setengah lingkaran, luas segitiga kerja menghasilkan rpm yang semakin besar pada posisi sudut nozzle 0° dan sudut nozzle 25° dengan luasan segitiga kerja $360,36 \text{ cm}^2$, dimana posisi tersebut menghasilkan 216 rpm pada putaran kincir dan 1626 rpm pada putaran generator. Pada saat sudut posisi nozzle 15° dan sudut nozzle 20° dengan luasan segitiga kerja $264,27 \text{ cm}^2$, menghasilkan 221 rpm pada putaran kincir dan 1711 rpm pada putaran generator. sedangkan pada saat sudut posisi nozzle 30° dan sudut nozzle 10° luas segitiga kerjanya $134,37 \text{ cm}^2$ dan menghasilkan 173 rpm pada putaran kincir dan 1307 rpm pada putaran generator. pada turbin sudu segitiga dan sudu sirip, luas segitiga kerja tidak berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.

Kata kunci : PLTMH, Sudut Nozzle, Posisi Nozzle, Segitiga Kerja

Abstract

At present the power plant has a high dependence on energy sources such as diesel, natural gas and coal, while its energy source in nature is increasingly scarce, this situation encourages the development of renewable energy, one of which is in micro hydro power plants. This study aims to determine the effect of the width of the work triangle on the highest rpm produced. the fall of water on the pinwheel is set from the position angle of the nozzle 00 , 150 , 300 , 450 , 600 , 750 and from the angle of the nozzle 00 , 50 , 100 , 150 , 200 , 250 , 300 , 350 and 400 on the semicircular blade turbine, triangle blade turbine, and fin blade turbines. Semicircular turbine blade, working triangle area produces greater rpm at position of angle nozzle 00 and angle of nozzle 250 with area of work triangle $360,36 \text{ cm}^2$, where the position produces 216 rpm at windmill rotation and 1626 rpm at generator rotation. When the nozzle position angle 150 and the nozzle angle 200 with the working triangle area 264.27 cm^2 , produce 221 rpm at the pinwheel rotation and 1711 rpm at the generator rotation. while at the nozzle position angle of 300 and the angle of the nozzle 100 the area of the triangle works 134.37 cm^2 and produces 173 rpm at the spinning wheel and 1307 rpm at the generator rotation. on the triangle blade turbine and fin blade, the working triangle area does not affect the rpm produced.

Keywords: PLTMH, Nozzle Position Angle, Angle of the Nozzle, Working Triangle

1. PENDAHULUAN

Krisis listrik yang terjadi di Indonesia disebabkan oleh ketidaksesuaian antara kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat dari waktu ke waktu dan kemampuan pemerintah menyediakan listrik. Sampai saat ini, sumber energi pembangkit listrik di Indonesia sebagian besar tergantung pada solar, gas alam, dan batubara yang hampir di atas 75 %. Ketiga jenis bahan bakar ini membutuhkan transportasi agar dapat sampai ke lokasi pembangkit listrik. Jika transportasi pengangkut bahan bakar ini terganggu karena cuaca buruk atau gelombang laut besar, pembangkit listrik akan terganggu. Sebagaimana yang kita rasakan, fenomena yang banyak terjadi akhir – akhir ini adalah pemadaman listrik secara bergilir baik di kota – kota besar maupun di daerah. [1]

Melihat kondisi ini, sejak tahun 2000 telah digalakkan program hemat energi untuk mengantisipasi kekurangan daya tersebut, yaitu dengan mengurangi pemakaian sumber energi primer dari BBM dan beralih ke sumber energi thermal, seperti : batu bara, gas dan panas bumi, matahari (solar energi) dan *hydro* (air) serta pemanfaatan energi alternatif seperti energi surya, angin, dan energi samudra. [2]

Salah satu pembangkit energi listrik yang ada saat ini adalah PLTMH, dimana PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang artinya pembangkit listrik ini menggunakan energi dari tenaga air untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik mikro hidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang tidak memerlukan bendungan besar seperti pada pembangkit listrik tenaga air pada umumnya. Air yang jatuh dari nozzle sampai menyentuh permukaan sudu dimana nozzle bisa dirubah-ubah sudutnya sehingga membentuk suatu segitiga. Yang dimaksud segitiga kerja adalah air yang mengenai sudu menyebabkan sudu berputar, bila sudutnya terlalu besar air tidak mengenai permukaan sudu sehingga turbin tidak berputar, maka dalam hal ini dinyatakan sudah melewati segitiga kerja. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai pengaruh segitiga kerja terhadap rpm tertinggi yang dihasilkan, yang ditentukan oleh sudut posisi nozzle dan sudut nozzle.

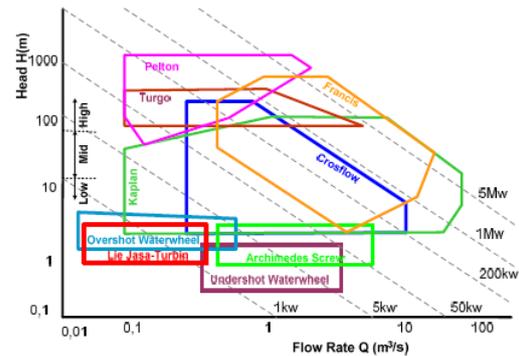
2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 200 kW) yang memanfaatkan aliran air sebagai sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah lingkungan.

Secara ekonomis, biaya operasi investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial, PLTMH mudah diterima oleh masyarakat luas. PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN. Tenaga air yang digunakan dapat berupa aliran air pada sistem irigasi, sungai yang di bendung atau air terjun.[3]

Pemilihan jenis turbin berdasarkan head diperlihatkan pada Gambar 1,



Gambar 1. Grafik pemilihan jenis turbin

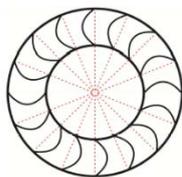
Sebuah pembangkit listrik mikro hidro lokasinya cenderung tersebar pada daerah pengunungan yang memiliki beda ketinggian. Air yang mengalir diantara celah-celah bukit mulai dari hulu debitnya kecil, semakin kebawah makin besar setelah melalui penggabungan dari beberapa celah lereng bukit. Konsep dari aliran air ini mengalir sepanjang waktu, tidak ada genangan yang menampung air dalam volume yang besar. Konsep waduk ditempat seperti ini tidak memungkinkan, bila ditemukan air terjun, maka dilokasi itu memungkinkan bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik.

2.2 Jenis Kincir

Kincir air digunakan untuk merubah energi air yang mengalir menjadi energi kinetis dalam bentuk energi putaran, semakin besar air yang memutar kincir ini semakin besar momen energi putar yang

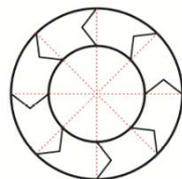
didapat. Jenis-jenis kincir air yang diukur adalah :

1. Sudu Turbin Setengah Lingkaran
Turbin setengah lingkaran terdiri dari dua bagian utama yaitu nozzle dan runner. Nozzle merupakan bagian yang diam sedangkan runner merupakan bagian yang bergerak. Runner terbuat dari dua buah piringan sejajar yang digabungkan oleh sederetan sudu melengkung di bagian tepi. Bentuk nozzle dalam penelitian ini adalah bulat untuk mengarahkan pancaran air kedalam sudu. [4]



Gambar 2. Sudu Turbin Setengah Lingkaran

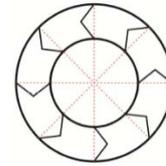
2. Sudu Turbin Segitiga
Model kincir dibuat dalam posisi berdiri, dan sudu yang ditempatkan ditepi lingkaran luar antara dua piringan roda. Air akan tertahan pada celah ruang diantara piringan dengan alas sudu. Air akan tertahan pada ruang ini karena adanya pengaruh gaya gravitasi terhadap masa air yang menyebabkan roda turbin berputar pada porosnya. Dalam penelitian ini jumlah sudu dirancang sebanyak 8 buah berbentuk segitiga yang melekat di tepi roda. Dalam menentukan jumlah sudu turbin, tetap dipertimbangkan dari jari-jari turbin bagian luar karena jarak antara sudu dihitung berdasarkan keliling lingkaran luar dibagi dengan jumlah sudu (N). [4]



Gambar 3. Sudu Turbin Segitiga

3. Sudu Turbin Sirip
Turbin sudu sirip adalah turbin air yang memiliki sudu-sudu berbentuk sirip yang dipasang pada bagian tepi dari pinggiran roda. Air yang mengalir

melalui pipa pesat (penstock) akan mengisi sudu-sudu yang menyebabkan turbin berputar. [4]



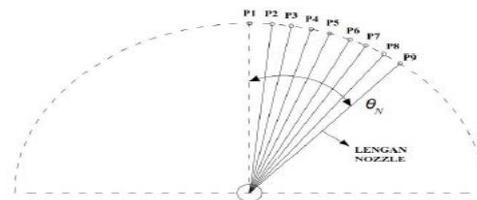
Gambar 4. Sudu Turbin Sirip

2.3 Desain Posisi dan Arah Sudut Nozzle

2.3.1 Posisi Nozzle

Sudut posisi nozzle adalah sudut yang terbentuk antara lengan nozzle dan garis vertikal. Besarnya sudut akan berubah sesuai kedudukan posisi lengan nozzle, yang tentunya besar dari sudut posisi nozzle lebih kecil dari 90° dan arahnya selalu tertuju pada sudu. [4]

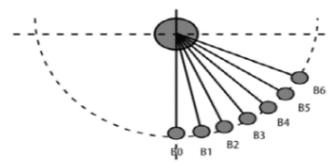
POSISI LENGAN NOZZLE									
SIMBOL	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
SUDUT	0	5	10	15	20	25	30	35	40



Gambar 5. Posisi lengan nozzle

2.3.2 Arah Sudut Nozzle

Panjang dari lengan nozzle harus lebih besar dari jari-jari roda sehingga nozzle selalu berada di luar dari lingkungan roda. Sudut α_N adalah sudut yang terbentuk antara lengan nozzle dengan nozzle. Besarnya α_N dibuat antara 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , dan 30° berdasarkan kedudukan dari lengan nozzle. Range sudut $\alpha_N < 90^\circ$, dengan arah ditunjukkan pada sudu. [5]



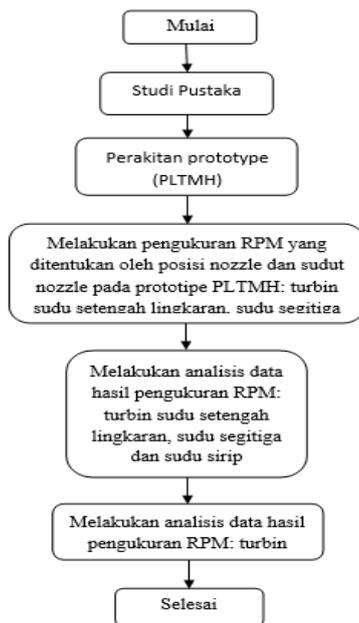
POSISI NOZZEL							
SIMBOL	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
ANGEL (0)	0	5	10	15	20	25	30

Gambar 6. Arah Sudut Nozzle

3. METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Secara sistematis alur penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 7. Alur Penelitian

Metodologi dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur.
2. Merakit kincir dan pompa dengan kerangkanya sehingga menjadi satu bagian.
3. Melakukan pengukuran kecepatan rpm menggunakan alat ukur tachometer dengan mengatur titik jatuh air di sudut $P_1=0^\circ$, $P_2=15^\circ$, $P_3=30^\circ$, $P_4=45^\circ$, $P_5=60^\circ$, dan $P_6=75^\circ$ terhadap titik utama kincir dan mengganti arah sudut nozzle pada setiap posisi nozzle berturut-turut dari 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° dan 40° di ketiga model sudu turbin.
4. Melakukan analisis data hasil pengukuran RPM turbin sudu setengah lingkaran, sudu segitiga dan sudu sirip.
5. Menghitung luas segitiga kerja pada turbin sudu setengah lingkaran, sudu segitiga dan sudu sirip.
6. Menarik kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya. Cara kerja sistem PLTMH ini diawali dengan pompa menghisap air yang terdapat pada bak, kemudian air dialirkan melalui pipa sampai ke sudu kincir hingga kincir berputar. Terjadi energi mekanik saat kincir berputar, kincir terhubung dengan *pulley* kincir melalui sebuah poros. Dengan sebuah *belt*, *pulley* kincir dihubungkan dengan *pulley* yang terhubung pada rotor generator (*pulley* generator). Putaran yang terjadi pada kincir akan memutar generator melalui kedua *pulley* yang terhubung. Generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada pipa akan dipasang manometer untuk mengukur tekanan air. Untuk mengukur putaran kincir dan generator dipergunakan tachometer.

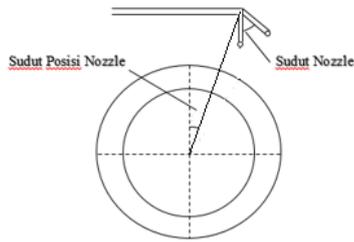
Data yang dicatat pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) ini adalah putaran pada kincir dan putaran pada generator. Prototype PLTMH pada Gambar 8.



Gambar 8. Prototype PLTMH

4.2. Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle

Posisi nozzle adalah posisi yang didapat dari sudut yang terbentuk antara lengan nozzle dan garis vertikal dari titik tengah kincir, dan sudut nozzle adalah sudut yang terbentuk antara lengan nozzle dengan nozzle. Posisi nozzle dan sudut nozzle sangat berpengaruh terhadap arah putaran roda kincir, tergantung dari penempatan nozzle tersebut. posisi nozzle dan sudut nozzle pada turbin PLTMH dapat dilihat pada Gambar 9,



Gambar 9. Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle

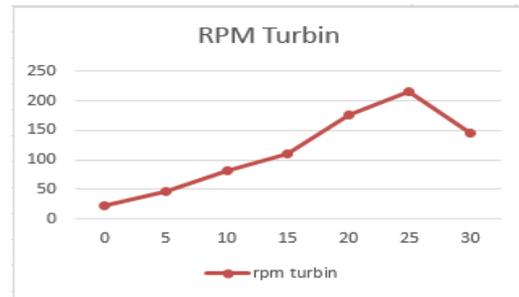
4.2.1 Hasil Pengukuran Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Menggunakan Sudu Setengah Lingkaran

Dari pengukuran yang telah dilakukan pada model sudu setengah lingkaran sesuai dengan parameter-parameter pengukuran pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yaitu : sudut posisi nozzle dan sudut nozzle untuk mengetahui rpm turbin dan generator yang dihasilkan, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Sudu Setengah Lingkaran

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	Putaran Kincir (rpm)	Putaran Generator (rpm)
1	0°	0°	22	120
		5°	46	291
		10°	81	579
		15°	110	791
		20°	177	1261
		25°	216	1626
		30°	145	1016
2	15°	0°	42	297
		5°	86	636
		10°	124	946
		15°	174	1308
		20°	221	1711
		25°	45	325
3	30°	0°	110	822
		5°	146	870
		10°	173	1307
		15°	29	186
4	45°	0°	110	847
		5°	181	1371
		10°	199	1495
5	60°	0°	200	1520
		5°	194	1448
6	75°	0°	67	552

Hasil Pengukuran yang diperoleh pada Tabel 1 adalah rata-rata pengukuran dari lima kali pengulangan pada masing-masing parameter pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang diukur. Grafik rpm kincir dan generator, sudut posisi nozzle 0° pada sudu setengah lingkaran dapat dilihat pada Grafik 1,



Grafik 1. RPM Turbin Sudut Posisi Nozzle 0° Pada Sudu Setengah Lingkaran

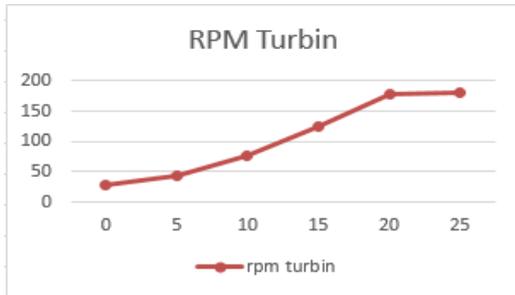
4.2.2 Hasil Pengukuran Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Menggunakan Sudu Segitiga

Dari pengukuran yang telah dilakukan pada model sudu segitiga sesuai dengan parameter-parameter pengukuran pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yaitu : sudut posisi nozzle dan sudut nozzle untuk mengetahui rpm turbin dan generator yang dihasilkan, dapat dilihat pada Tabel 2,

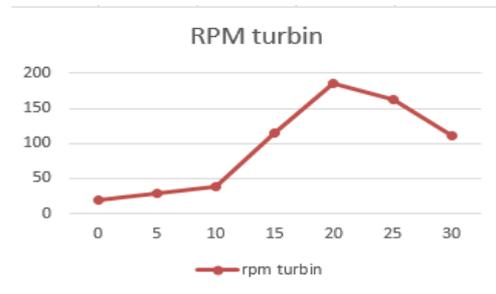
Tabel 2. Hasil Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Sudu Segitiga

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	Putaran Kincir (rpm)	Putaran Generator (rpm)
1	0°	0°	29	199
		5°	44	305
		10°	77	589
		15°	125	922
		20°	178	1273
		25°	181	1294
		2	15°	0°
5°	97			722
10°	146			1050
15°	196			1410
20°	144			1051
3	30°			0°
		5°	140	1069
		10°	201	1550
		4	45°	0°
5°	198			1466
10°	76			530
5	60°	0°	186	1382
		5°	158	1144
6	75°	0°	144	834

Hasil Pengukuran yang diperoleh pada Tabel 2 adalah rata-rata pengukuran dari lima kali pengulangan pada masing-masing parameter pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang diukur. Grafik rpm kincir dan generator, sudut posisi nozzle 0° pada sudu segitiga dapat dilihat pada Grafik 2,



Grafik 2. RPM Turbin Sudut Posisi Nozzle 0° Pada Sudu Segitiga



Grafik 3. RPM Turbin Sudut Posisi Nozzle 0° Pada Sudu Sirip

4.2.3 Hasil Pengukuran Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Menggunakan Sudu Sirip

Dari pengukuran yang telah dilakukan pada model sudu sirip sesuai dengan parameter-parameter pengukuran pembangkit listrik tenaga mikro hidro, yaitu : sudut posisi nozzle dan sudut nozzle untuk mengetahui rpm turbin dan generator yang dihasilkan, dapat dilihat pada Table 3.

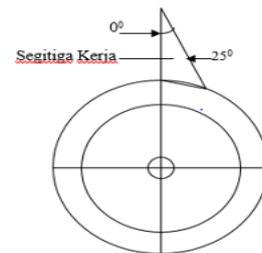
Tabel 3. Hasil Pengukuran Posisi Nozzle dan Sudut Nozzle Sudu Sirip

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	Putaran Kincir (rpm)	Putaran Generator (rpm)
1	0°	0°	20	134
		5°	29	185
		10°	38	271
		15°	114	816
		20°	186	1368
		25°	162	1163
		30°	111	793
2	15°	0°	33	221
		5°	90	696
		10°	146	1083
		15°	186	1368
		20°	155	1158
		25°	145	1071
		30°	156	1154
3	30°	5°	199	1495
		10°	185	1424
		15°	120	866
		0°	170	1229
4	45°	5°	200	1520
		10°	90	722
		0°	206	1604
5	60°	5°	130	976
		0°	20	150

Hasil Pengukuran yang diperoleh pada Tabel 3 adalah rata-rata pengukuran dari lima kali pengulangan pada masing-masing parameter pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang diukur. Grafik rpm kincir dan generator, sudut posisi nozzle 0° pada sudu sirip dapat dilihat pada Grafik 3,

4.3 Analisis Luasan Segitiga Kerja

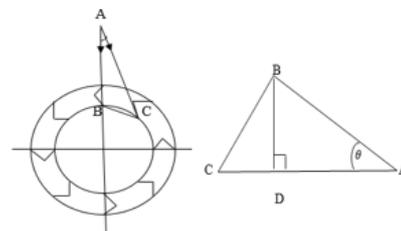
Dari analisis luasan segitiga kerja yang telah dilakukan, dapat ditemukan salah satu bentuk luasan segitiga kerja yaitu sudut posisi nozzle 0° dengan sudut nozzle pada 25° yang menghasilkan rpm yang tertinggi pada sudu setengah lingkaran seperti pada Gambar 10,



Gambar 10. Segitiga Kerja Sudut Posisi Nozzle 0° dan Sudut Nozzle 25° Pada Sudu Setengah Lingkaran

Dapat juga ditemukan bentuk luasan segitiga kerja pada posisi nozzle 15°, 30°, 45°, 60°, 75° yang menghasilkan rpm tertinggi pada sudu setengah lingkaran, sudu sirip dan

Luas segitiga kerja pada turbin sudu setengah lingkaran, sudu segitiga dan sudu sirip dapat dihitung setelah mengukur panjang sisi luasan segitiga kerja yang terdiri dari sisi AB, sisi BC, sisi AC dan titik bantu D. segitiga kerja setelah gambar diputar seperti pada Gambar 11,



Gambar 11. Sisi Segitiga Kerja

Luas segitiga kerja dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\sin \theta$$

$$DB$$

Dimana sisi DB adalah tinggi dari segitiga kerja dan sisi AC adalah alasnya, maka luas segitiga kerja dihitung menggunakan rumus 1

$$L = \frac{1}{2} \times AC \times DB \dots \dots \dots (1)$$

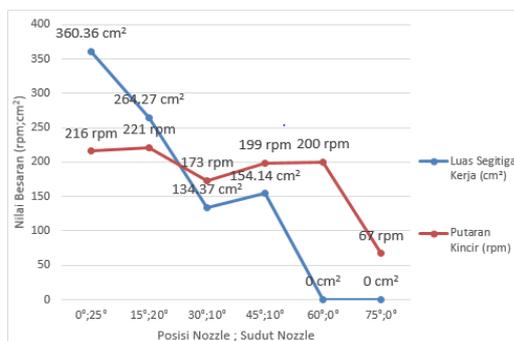
4.3.1 Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Turbin Sudu Setengah Lingkaran

Hasil perhitungan luas segitiga kerja secara matematis, sesuai dengan Rumus 1 pada model sudu setengah lingkaran yang ditentukan oleh posisi nozzle dan sudut nozzle sehingga menghasilkan rpm yang tertinggi adalah pada Tabel 4,

Tabel 4. Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Sudu Setengah Lingkaran

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	AC (cm)	BD (cm)	Luas Segitiga Kerja (cm ²)	RPM kincir	RPM Generator
1	0 ⁰	25 ⁰	52	13.86	360.36	216	1626
2	15 ⁰	20 ⁰	46	11.49	264.27	221	1711
3	30 ⁰	10 ⁰	43	6.25	134.37	173	1307
4	45 ⁰	10 ⁰	46.5	6.63	154.14	199	1495
5	60 ⁰	0 ⁰	0	0	0	200	1520
6	75 ⁰	0 ⁰	0	0	0	67	552

Dari data hasil perhitungan luas segitiga kerja pada model sudu setengah lingkaran yang telah didapat pada Tabel 4, maka dapat dibuat grafiknya untuk mengetahui hubungan antara luas segitiga kerja dan rpm tertinggi yang dihasilkan pada Grafik 4,



Grafik 4. Luas Segitiga Kerja dan RPM Tertinggi Pada Sudu Setengah Lingkaran

Pada grafik 4 dapat dilihat bahwa pada sudu turbin setengah lingkaran, luas segitiga kerja menghasilkan rpm yang semakin besar, seperti pada saat sudut posisi nozzle 0⁰ dan sudut nozzle 25⁰ dengan luasan segitiga kerja 360,36 cm² menghasilkan 216 rpm pada putaran kincir dan 1626 pada putaran generator, dan pada saat sudut posisi nozzle 15⁰ dan sudut nozzle 20⁰ dengan luasan segitiga kerja 264.27 cm² menghasilkan 221 rpm pada putaran kincir dan 1711 pada putaran generator, sedangkan pada saat sudut posisi nozzle 30⁰ dan sudut nozzle 10⁰ luas segitiga kerjanya 134.37 cm² dan menghasilkan 173 rpm pada putaran kincir dan 1307 rpm pada putaran generator. Hal ini menunjukkan luas segitiga kerja berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.

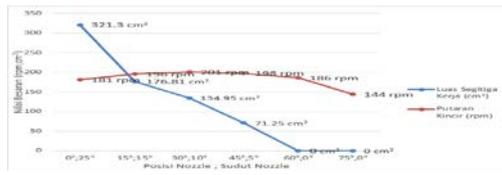
4.3.2 Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Turbin Sudu Segitiga

Hasil perhitungan luas segitiga kerja secara matematis, sesuai dengan Rumus 1 pada model sudu segitiga yang ditentukan oleh posisi nozzle dan sudut nozzle sehingga menghasilkan rpm yang tertinggi dapat dilihat pada Tabel 5,

Tabel 5. Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Sudu Segitiga

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	AC (cm)	BD (cm)	Luas Segitiga Kerja (cm ²)	RPM kincir	RPM Generator
1	0 ⁰	25 ⁰	45	14.28	321.3	181	1294
2	15 ⁰	15 ⁰	41	8.62	176.81	196	1410
3	30 ⁰	10 ⁰	43.5	6.20	134.95	201	1550
4	45 ⁰	5 ⁰	42	3.39	71.25	198	1466
5	60 ⁰	0 ⁰	0	0	0	186	1382
6	75 ⁰	0 ⁰	0	0	0	144	834

Dari data hasil perhitungan luas segitiga kerja pada model sudu segitiga yang telah didapat pada Tabel 5, maka dapat dibuat grafiknya untuk mengetahui hubungan antara luas segitiga kerja dan rpm tertinggi yang dihasilkan, dapat dilihat pada Grafik 5.



Grafik 5. Luas Segitiga Kerja dan RPM Tertinggi Pada Sudu Segitiga

Pada Grafik 5 dapat dilihat bahwa luas segitiga kerja pada model sudu segitiga tidak berpengaruh, entah luasnya besar ataupun kecil terhadap rpm yang dihasilkan. disetiap sudut posisi nozzle, rpm turbin yang dihasilkan relatif stabil, tidak dipengaruhi seberapa besar luas segitiganya. sehingga dapat dikatakan bahwa luas segitiga kerja pada sudu segitiga tidak berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.

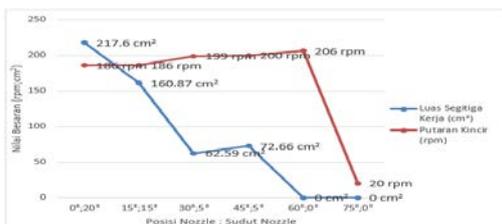
4.3.3 Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Turbin Sudu Sirip

Hasil perhitungan luas segitiga kerja secara matematis, sesuai dengan rumus 1 pada model sudu sirip yang ditentukan oleh posisi nozzle dan sudut nozzle sehingga menghasilkan rpm yang tertinggi dapat dilihat pada Tabel 6,

Tabel 6. Hasil Perhitungan Luasan Segitiga Kerja Pada Sudu Sirip

No.	Posisi Nozzle	Sudut Nozzle	AC (cm)	BD (cm)	Luas Segitiga Kerja (cm ²)	RPM kincir	RPM Generator
1	0°	20°	40	10.88	217.6	186	1368
2	15°	15°	39	8.25	160.87	186	1368
3	30°	5°	39	3.21	62.59	199	1495
4	45°	5°	42	3.46	72.66	200	1520
5	60°	0°	0	0	0	206	1604
6	75°	0°	0	0	0	20	150

Dari data hasil perhitungan luas segitiga kerja pada model sudu sirip yang telah didapat pada Tabel 6, maka dapat dibuat grafiknya untuk mengetahui hubungan antara luas segitiga kerja dan rpm tertinggi yang dihasilkan, dapat dilihat pada Grafik 6,



Grafik 6. Luas Segitiga Kerja dan RPM Tertinggi Pada Sudu Sirip

Pada Grafik 6 dapat dilihat bahwa luas segitiga kerja pada model sudu sirip tidak berpengaruh, entah luasnya besar ataupun kecil terhadap rpm yang dihasilkan. Terlihat pada grafik 6 disetiap sudut posisi nozzle, rpm turbin yang dihasilkan relatif stabil, tidak dipengaruhi seberapa besar luas segitiganya. sehingga dapat dikatakan bahwa luas segitiga kerja pada sudu sirip tidak berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.

5. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pada sudu turbin setengah lingkaran, luas segitiga kerja menghasilkan rpm yang makin besar, seperti pada saat sudut posisi nozzle 0° dan sudut nozzle 25° dengan luasan segitiga kerja 360,36 cm² menghasilkan 216 rpm pada putaran kincir dan 1626 pada putaran generator, dan pada saat sudut posisi nozzle 15° dan sudut nozzle 20° dengan luasan segitiga kerja 264.27 cm² menghasilkan 221 rpm pada putaran kincir dan 1711 pada putaran generator, sedangkan pada saat sudut posisi nozzle 30° dan sudut nozzle 10° luas segitiga kerjanya 134.37 cm² dan menghasilkan 173 rpm pada putaran kincir dan 1307 rpm pada putaran generator. Hal ini menunjukkan luas segitiga kerja berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.
2. Pada sudu turbin segitiga, luas segitiga kerja pada model sudu segitiga tidak berpengaruh, entah luasnya besar ataupun kecil terhadap rpm yang dihasilkan. Pada setiap sudut posisi nozzle, rpm turbin yang dihasilkan relatif stabil, tidak dipengaruhi seberapa besar luas segitiganya. sehingga dapat dikatakan bahwa luas segitiga kerja pada sudu segitiga tidak berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.
3. Pada sudu turbin sirip, luas segitiga kerja pada model sudu segitiga tidak berpengaruh, entah luasnya besar ataupun kecil terhadap rpm yang dihasilkan. Pada setiap sudut posisi nozzle, rpm turbin yang dihasilkan relatif stabil, tidak dipengaruhi seberapa besar luas segitiganya. sehingga dapat dikatakan bahwa luas segitiga kerja pada sudu sirip tidak berpengaruh terhadap rpm yang dihasilkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kristiati, M. T.H., 2011. Sumber Energi Penghasil Listrik. Cetakan Pertama. Citra Aji Parama. Yogyakarta.
- [2]. Dewa, N.K.P.N., 2009. Kajian Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Memanfaatkan Aliran Sungai Kelampuak di Desa Tamblang-Buleleng. Bali : Universitas Udayana.
- [3]. Larasakti, dkk. "Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Banki Daya 200 Watt". Makasar: Universitas Hasanudin, 2012.
- [4]. Jasa, L., 2015. Investigasi sudut *Nozzle* dan sudut kelengkungan sudu turbin air untuk peningkatan efisiensi mikro hidro. (*Disertas*). Surabaya : ITS.
- [5]. Weking, dkk, 2015. Modul Simulasi Kontrol Hidro Power Untuk Praktikum Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Udayana.