

ANALISA VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP PERFORMA TURBIN SPIRAL HORIZONTAL PADA *FLOW HEAD* RENDAH

Edy Suryono

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: edysuryono76@gmail.com

Rochmad Winarso, S.T., M.T.

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
rochmad.winarso@umk.ac.id

Rianto Wibowo, S.T., M.Eng.

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
rianto.wibowo@umk.ac.id

ABSTRAK

Energi listrik dikenal dengan sumber energi primer dan dibangkitkan melalui suatu pembangkit, pemanfaatan tenaga air skala kecil disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, PLTMH hanya mampu menghasilkan 10 – 150 kW, penelitian ini menggunakan turbin air tipe spiral, dipilih turbin tersebut karena cocok diterapkan pada *flow head* yang rendah. Tujuan penelitian tersebut yaitu mengetahui kecepatan putaran turbin (rpm) yang paling optimal dari perbandingan perbedaan kecepatan putaran (rpm) turbin spiral dari hasil variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4 dengan menggunakan signifikansi 0,05. Metode penelitian ini menggunakan studi eksperimen dan analisa statistik ANOVA satu arah dan dilakukan uji lanjut *fisher LSD* (BNT), studi eksperimen dilakukan mulai dari pembuatan variasi sudu, pengujian variasi sudu 2, 3, 4 untuk mendapatkan data kecepatan putaran turbin yang diterapkan pada *prototype* PLTMH dan dilanjutkan analisis statistik. Hasil uji lanjut *fisher LSD* dengan membandingkan ketiga variasi sudu dapat disimpulkan kecepatan putaran turbin yang paling optimal terdapat pada variasi sudu 3 dengan rerata 156,33 rpm.

Kata kunci: variasi sudu, anova, *fisher LSD*,

ABSTRACT

Electrical energy is known as a primary energy source and is generated through a power plant, the utilization of small-scale hydropower is called a Micro Hydro Power Plant, PLTMH is only able to produce 10 - 150 kW, this study uses spiral-type water turbines, selected the turbine because it is suitable to be applied to low flow heads. The purpose of the study is to know the most optimal turbine rotation speed (rpm) from the comparison of the difference in rotation speed (rpm) of spiral turbines from result the variation of angle 2, variation of angle 3 and variation of angle 4 by using signification 0.05. This research method uses experimental studies and statistical analysis of one-way ANOVA and conducted further tests fisher LSD (BNT), experimental studies were conducted starting from the manufacture of variations of the spoon, testing variations of angles 2, 3, 4 to obtain turbine rotation speed data applied to prototype PLTMH and continued statistical analysis. Fisher LSD advanced test results by comparing the three variations of the spoon can be concluded the most optimal turbine rotation speed is found in the variation of angle 3 with an average of 156.33

Keywords: variations of blade, anova, *fisher LSD*,

1. PENDAHULUAN

Energi listrik dikenal dengan sumber energi primer, dimana listrik dibangkitkan melalui suatu pembangkit, misalnya sumber energi primer yaitu bahan bakar fosil (batubara, gas alam, dan minyak bumi) sinar matahari, air, angin dan lain-lain [1], sesuai dengan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 3 Tahun 2005 tentang Perubahan Atas Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik. Penyediaan tenaga listrik dilakukan dengan memanfaatkan seoptimal mungkin sumber energi primer setempat dengan mengutamakan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan, dalam rangka diversifikasi energi dan pemanfaatan energi baru terbarukan tersebut, pasokan tenaga listrik pada tahun 2020 menggunakan minimal 5% berasal dari energi baru terbarukan [2].

Indonesia sangat berpotensi pada sumber daya energi ramah lingkungan dan energi baru terbarukan yang cukup besar. Energi baru terbarukan tersebut adalah satu satunya tenaga air skala kecil, pemanfaatan tenaga air skala kecil sering disebut dengan mikrohidro, teknologi mikrohidro dapat dikembangkan oleh masyarakat sebagai sumber energy baru terbarukan di Indonesia. Syarat utama pada sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu cukup tersedianya kapasitas air dan tinggi jatuh air dan dapat mengonversikan energi air menjadi energi gerak yang nantinya akan menggerakkan generator, namun PLTMH sendiri hanya mampu menghasilkan 10 – 150 kW dan cocok dibangun pada irigasi dengan aliran air yang konstan. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) sebagai upaya dalam menanggulangi krisis energi sangatlah prospek untuk membangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) karena banyak aliran sungai yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik dengan skala mikrohidro [3].

Turbin air merupakan sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari fluida, turbin air sendiri ditemukan oleh Claude Bourdin pada awal abad 19, kata turbin terjemahan dari bahasa latin yaitu whirling (putaran) atau vortex (pusaran air). Berdasarkan hasil dari rancang bangun dan uji performansi turbin air jenis kaplan skala mikrohidro, berdasarkan perhitungan *head* dan kapasitas aliran air pada kolam ikan di Lemjiantek, didapatkan tinggi sebesar 1,6 m dan debit 0,0224 m³/s, sehingga turbin air yang tepat sebagai penggerak pada *prototype* PLTMH di Lemjiantek adalah Turbin Kaplan. Daya air yang tersedia di kolam sebesar 805,046 Watt. Hasil dari perancangan turbin kaplan menghasilkan putaran spesifik turbin sebesar 249,372 rpm dengan diameter luar roda turbin 10,70 cm dan diameter dalam roda turbin 3,56 cm serta tinggi sudu pengarah 3 cm. Daya indikasi yang dihasilkan oleh turbin air sebesar 351,590 Watt dengan torsi sebesar 6,711 N.m dan daya efektif turbin air sebesar 280,964 Watt serta efisiensi turbin sebesar 79 % [4].

Hasil dari perancangan dan pengujian turbin kaplan dengan variabel perubahan ketinggian 4 m, 3 m, 2 m dan perubahan debit, hasil pengujian turbin kaplan dengan sudut rotor 45° dan variasi sudut stator 45° yaitu dapat diambil dari perancangan turbin kaplan dengan ketinggian 4 m, debit 0,135 m³/s dan putaran turbin kaplan 700 rpm dari perhitungan dihasilkan diameter luar sudu turbin 0,3 m, diameter tengah sudu turbin 0,215 m dan diameter leher poros sudu turbin 0,13 m. Penambahan ketinggian menyebabkan putaran turbin menjadi lebih cepat. Dari ketinggian 2 meter, 3 meter dan 4 meter yang diujikan putaran tertinggi didapatkan pada ketinggian 4 meter dengan pintu bukaan 1 debit 132 dm³/s putaran yang dihasilkan 493,6 rpm. Sedangkan putaran terendah terdapat pada ketinggian 2 meter dengan pintu bukaan 4 debit 57 dm³/s dengan hasil putaran 210,8 rpm. Pintu air bukaan 1, bukaan 2, bukaan 3 dan bukaan 4 yang diujikan bahwa setiap penambahan ketinggian mengakibatkan penambahan kecepatan putaran yang terjadi pada turbin. Hal ini terjadi karena setiap penambahan ketinggian menyebabkan kecepatan aliran dan debit air semakin bertambah, selain itu tekanan air menjadi lebih besar sehingga putaran turbin menjadi lebih cepat [5].

Hasil dari perancangan turbin *screw* untuk pembangkit listrik mikro hidro dengan tinggi rendah, sehingga turbin *screw* dikategorikan sebagai jenis turbin impuls dengan prinsip kerja turbin *screw* ini didasari oleh sistem pompa yang berfungsi mengangkat air dari sungai menuju ke permukaan. Turbin *screw* pada dasarnya kebalikan dari pompa ulir. Air yang memiliki tinggi tertentu akan mampu memutar turbin *screw* yang dihubungkan dengan generator untuk mengonversikan ke energy listrik. Hasil dari rancang bangun diperoleh dari beberapa parameter yang menentukan kinerja turbin yaitu dimensi turbin berupa diameter turbin, poros turbin, panjang

turbin, *pitch* turbin, dan komponen pendukung lainnya. Hasil dari perancangan turbin yaitu tinggi turbin 1,05 m, kapasitas aliran 0,3302 m³/s, panjang turbin 1,831 m, jarak *pitch* 0,512 m, sudut peletakan turbin 35 derajat, diameter inner turbin 0,2179 m, diameter luar turbin 0,7266 m, tinggi sudu turbin 0,2544 m, jumlah sudu turbin 2 buah, jumlah cycle 3,5 dan sudut turbin *screw* 26 derajat [6].

Hasil dari analisa variasi jumlah sudu berengsel terhadap unjuk kerja turbin *cross flow zero head* merupakan jenis turbin impuls, tujuan dari penelitian tersebut untuk menganalisa unjuk kerja turbin *cross flow zero head* dengan parameter yang divariasikan adalah jumlah sudu (12, 6, dan 4 sudu) dan pergerakan sudu (sudu berengsel dan sudu tetap). Unjuk kerja turbin yang dianalisa adalah efisiensi sistem, keluaran energi, dan putaran generator. Hasil penelitian menunjukkan unjuk kerja terbaik diperoleh saat jumlah sudu 12 dengan gerakan sudu tetap. Efisiensi sistem terbaik sebesar 0,47 % diperoleh pada kecepatan putar generator sebesar 89,8 RPM dan keluaran energi generator sebesar 29,25 Watt [7].

Hasil dari perancangan dan simulasi turbin pelton daya output pada *prototype* turbin pelton generator 20.000 watt, hasil perancangan turbin pelton daya output generator 20.000 watt yaitu dengan tinggi jatuh air 12 meter dari perhitungan komponen - komponen turbin pelton didapatkan *runner* dengan diameter luar 363,38 mm, lebar mangkuk 59,65 mm, lebar bukaan mangkuk 38,04 mm, tinggi mangkuk 59,65 mm menghasilkan debit air sebesar 0,265 m³/s. Luas penampang pipa sebesar 0,017 m², sudut elevasi dari pipa pesat adalah 26,56°. Kecepatan maksimum terjadi pada detik 0,6 menghasilkan 12,96 m/s dan pada hitungan analitis (C1) dari kecepatan pancar air *nosel* didapatkan 14,88 m/s, sedangkan hasil simulasi kecepatan pancar air maksimal menggunakan simulasi didapatkan kecepatan air sebesar 12969,9 mm/s atau 12,96 m/s [8].

Hasil dari analisa pengujian turbin air jenis *crossflow* terhadap variasi debit, didapatkan pada percobaan ke-1 dengan variasi debit air sebesar 0,000556 m³/s menghasilkan jumlah putaran turbin yaitu 263,7 rpm sehingga kecepatan anguler yang dihasilkan sebesar 27,60 rad/s, pada percobaan ke-2 dengan variasi debit air sebesar 0,000611 m³/s menghasilkan jumlah putaran turbin yaitu 280,9 rpm sehingga kecepatan anguler yang dihasilkan sebesar 29,40 rad/s, pada percobaan ke-3 dengan variasi debit air sebesar 0,000694 m³/s menghasilkan jumlah putaran putaran 315,4 rpm sehingga kecepatan anguler yang dihasilkan sebesar 33,012 rad/s. Berdasarkan hasil penelitian dengan 3 variasi debit air jumlah putaran turbin turbin *crossflow* tertinggi pada variasi debit air 0,000694 m³/s menghasilkan jumlah putaran 315,4 rpm sehingga kecepatan anguler yang dihasilkan sebesar 33,012 rad/s, sedangkan jumlah putaran turbin turbin *crossflow* pada variasi debit air 0,000556 m³/s menghasilkan jumlah putaran turbin yaitu 263,7 RPM sehingga kecepatan anguler yang dihasilkan sebesar 27,60 rad/s [9].

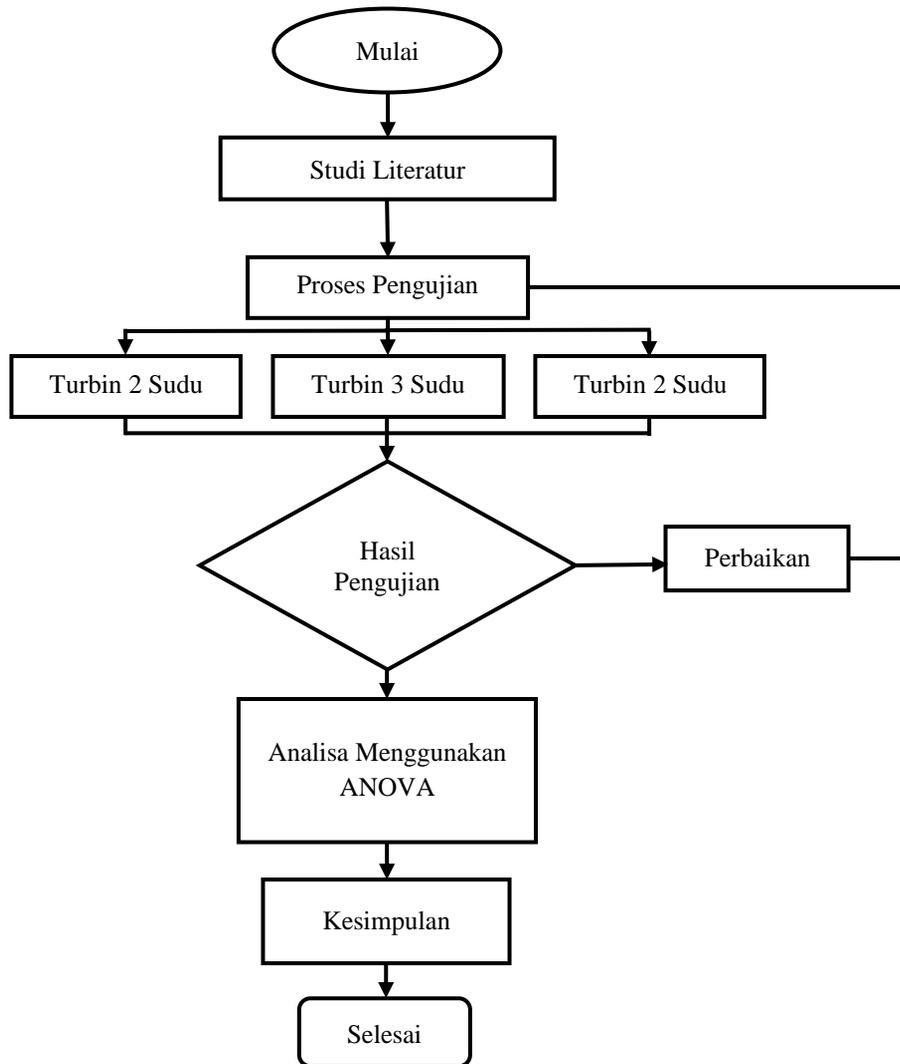
Anova yaitu sebuah analisis statistik untuk menguji perbedaan rerata antar kelompok atau jenis perlakuan dan diperkenalkan oleh seorang ahli statistik bernama Ronald Fisher. Anova satu arah yaitu analisa statistik yang sering digunakan untuk menguji perbedaan lebih dari dua populasi dengan satu variabel faktor, anova satu arah adalah analisis yang melibatkan satu peubah bebas (variabel faktor) yang digunakan dalam penelitian mempunyai ciri – ciri seperti melibatkan satu variabel bebas dengan dua kategori atau lebih dan ditentukan peneliti menggunakan data kelompok secara tidak acak [10].

Pada penelitian ini menggunakan turbin air dengan tipe spiral, dipilih turbin tersebut karena cocok diterapkan di *flow head* yang rendah. Sebelum diterapkan perlu adanya pengujian dengan prototipe untuk mengetahui seberapa besar jumlah putaran yang dihasilkan. Tujuan dari penelitian tersebut untuk mengetahui kecepatan putaran turbin yang paling optimal dari perbandingan perbedaan kecepatan putaran (rpm) turbin spiral dari hasil variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4 dengan menggunakan signifikansi 0,05.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada metode penelitian ini dibuat sebelum dilakukan proses pengujian dan analisa variasi jumlah sudu terhadap performa turbin spiral horisontal pada *flow head* rendah pada *prototype* pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dengan tipe turbin spiral dan mendapatkan data-

data yang valid sesuai yang di harapkan. Langkah-langkah penelitian mengikuti diagram alir sebagaimana di tunjukkan gambar 1.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur analisa variasi jumlah sudu terhadap performa turbin spiral horisontal pada *flow head* pada *prototype* PLTMH dengan tipe turbin spiral, untuk mendapatkan sumber informasi dan data-data yang berhubungan analisa variasi jumlah sudu pada *prototype* PLTMH yang diangkat pada analisa penelitian tersebut. Studi literatur yang dilakukan untuk mengkaji literatur jurnal, buku, referensi, disertasi, skripsi dan tesis adalah analisis menggunakan *one way* ANOVA pada kecepatan putaran turbin yang paling optimal dari perbandingan perbedaan kecepatan putaran (RPM) turbin spiral terhadap variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4 dengan menggunakan signifikansi 0,05.

2.2. Proses Pengujian

Pada proses pengujian *prototype* PLTMH dengan tipe turbin spiral sebagai berikut:

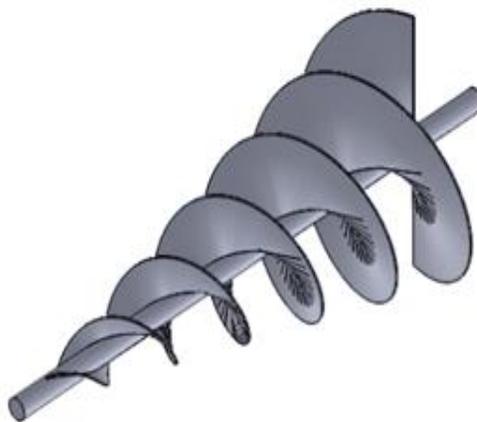
1. Pada proses pengujian menggunakan variasi sudu turbin spiral 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4.
2. Setiap pengujian variasi sudu dilakukan variasi debit yaitu variasi debit 0,003 m³/s, variasi debit 0,002 m³/s dan variasi debit 0,001 m³/s. Hasil dari pengujian kecepatan putaran turbin (RPM) tersebut diambil sebanyak 5 data per variasi debit, sehingga diambil per variasi sudu sebanyak 15 data kecepatan putaran turbin (RPM).
3. Kecepatan putaran (RPM) turbin spiral dapat diketahui menggunakan sensor *rotary encoder*.
4. Sebelum dilakukan pengujian kecepatan putaran (RPM) turbin, sensor *rotary encoder* dikalibrasi terlebih dahulu dengan membandingkan hasil kecepatan putaran menggunakan tachometer. Tachometer sebagai acuan utama pengkalibrasian, langkah berikutnya memasukkan selisih kecepatan putaran rata – rata dari sensor *rotary encoder* dan tachometer selama satu menit ke dalam program arduino, selanjutnya apabila hasil dari sensor tersebut kurang dari hasil tachometer maka hasil selisih nilai rata – rata ditambahkan (+) dengan hasil dari sensor *rotary encoder*. Sebaliknya apabila hasil dari sensor *rotary encoder* lebih dari hasil tachometer maka hasil selisih rata – rata kecepatan putaran tersebut dikurangkan (-) dengan hasil dari sensor *rotary encoder*. Jika hasilnya sama dengan tachometer maka tidak mengubah program di arduino.
5. Langkah – langkah pengujian diawali air yang di semprotkan pompa air akan mengalir ke arah turbin spiral. Dari turbin spiral kemudian air masuk ke celah-celah sudu penggerak dengan adanya tekanan air, sudu penggerak dapat berputar lalu putaran tersebut dapat menghasilkan putaran turbin.

2.3. Turbin Air Tipe Spiral

Turbin air tipe spiral dalam pengujian dan di analisa yaitu turbin air tipe spiral 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu.

2.3.1. Turbin Air Tipe Spiral 2 Sudu

Pengujian pertama pada variasi jumlah sudu turbin yaitu sudunya berjumlah 2 buah, desain dari turbin spiral 2 sudu dapat dilihat pada gambar 2.1, sedangkan hasil manufaktur turbin spiral variasi sudu 2 dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Desain Turbin Spiral Sudu 2



Gambar 3 Hasil Manufaktur Turbin Spiral Sudu 2

2.3.2. *Turbin Air Tipe Spiral 3 Sudu*

Pengujian kedua pada variasi jumlah sudu turbin yaitu sudunya berjumlah 3 buah, desain dari turbin spiral 3 sudu dapat dilihat pada gambar 2.3, hasil manufaktur variasi jumlah sudu 3 dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



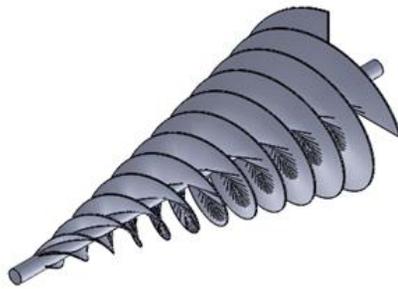
Gambar 4 Desain Turbin Spiral 3 Sudu



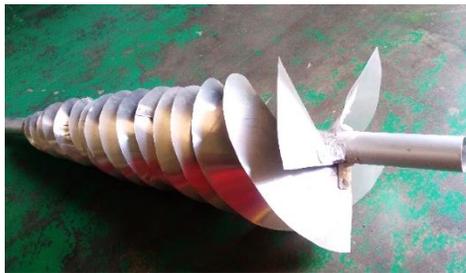
Gambar 5 Hasil Manufaktur Turbin Spiral Sudu 3

2.3.3. *Turbin Air Tipe Spiral 4 Sudu*

Pengujian ketiga pada variasi jumlah sudu turbin yaitu sudunya berjumlah 4 buah, desain dari turbin spiral 4 sudu dapat dilihat pada gambar 2.5, hasil manufaktur pada variasi sudu 4 terdapat pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Desain Turbin Spiral 4 Sudu



Gambar 7. Hasil Manufaktur Turbin Spiral Sudu

2.4. Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh hasil yang terbaik diantara 3 variasi jumlah sudu pada *prototype* pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dengan tipe turbin spiral.

2.5. Analisa Menggunakan Anova

Tujuan dari analisa variasi jumlah sudu terhadap performa turbin spiral horisontal pada *flow head* yaitu mengetahui kecepatan putaran turbin yang paling optimal dari perbandingan perbedaan kecepatan putaran (RPM) turbin spiral terhadap variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4 dengan menggunakan signifikansi 0,05. Analisa tersebut menggunakan *Analysis Of Variance* (ANOVA) satu arah dengan variabel bebas (X) adalah variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4, sedangkan variabel terikat (Y) yaitu hasil pengujian kecepatan putaran turbin (RPM).

2.6. Kesimpulan

Setelah selesai menganalisa ANOVA satu arah langkah selanjutnya mengambil kesimpulan dari tujuan penelitian, apabila ada yang perlu diperbaiki dan akan dibuatkan usulan atau saran yang akan digunakan untuk pengembangan analisis selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa One Way ANOVA

Setelah menentukan variabel X dan variabel Y, selanjutnya memasukkan data hasil kecepatan turbin dengan tabel bantu, dapat dilihat pada tabel 1, hasil kecepatan putaran turbin spiral pada sudu 2 di simbolkan Y_1 , simbol Y_2 yaitu hasil kecepatan turbin spiral sudu 3 dan simbol Y_3 adalah hasil kecepatan putaran turbin sudu 4.

Tabel 1. Tabel Bantu Perhitungan Jumlah Variabel Y Dan Y₂

No.	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₁ ²	Y ₂ ²	Y ₃ ²
1	150	177	180	22500	31329	32400
2	147	238	176	21609	56644	30976
3	148	221	177	21904	48841	31329
4	147	177	179	21609	31329	32041
5	144	182	177	20736	33124	31329
6	109	151	115	11881	22801	13225
7	111	144	117	12321	20736	13689
8	105	147	115	11025	21609	13225
9	107	142	110	11449	20164	12100
10	108	140	112	11664	19600	12544
11	90	127	102	8100	16129	10404
12	86	127	100	7396	16129	10000
13	89	125	99	7921	15625	9801
14	84	120	96	7056	14400	9216
15	80	127	94	6400	16129	8836
Σ	1705	2345	1949	203571	384589	271115

Dari perhitungan statistik pada tabel 2 didapatkan $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (rata - rata kelompok 1 (113,67) \neq rata - rata kelompok 2 (156,33) \neq rata - rata kelompok 3 (129,93)). Sehingga dapat diputuskan H₁ diterima (rata – rata kelompok 1, 2 dan 3 tidak sama).

Tabel 2. Tabel Bantu Perhitungan Statistik

Statistik	2	3	4	Jumlah
n	15	15	15	45
$\sum Y_i$	1705	2345	1949	5999
$\sum Y_i^2$	203571	384589	271115	859275
$\sum y_i^2$	9769,333333	17987,333333	17874,933333	45631,6
\bar{Y}_i	113,6666667	156,3333333	129,9333333	

3.1.1. Jumlah Kuadrat Sumber Varians

1. Jumlah Kuadrat Total (JKT)

$$\begin{aligned} & \sum Y_t^2 - \frac{(\sum Y_t)^2}{n_t} & (1) \\ & = 85927 - \frac{(5999)^2}{45} = 59541,64 \end{aligned}$$

2. Jumlah Kuadrat Antar Kelompok (JKA)

$$\left\{ \sum_{i=1}^a \frac{(\sum Y_i)^2}{n_t} \right\} - \frac{(\sum Y_t)^2}{n_t} \quad (2)$$

$$= 193802 + 366602 + 253240 - 799733 = 13910$$

3. Jumlah Kuadrat Dalam Kelompok (JKD)

$$\sum_{i=1}^a (\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n_t}) \quad (3)$$

$$= 859275 - 813643 = 45631,6$$

3.1.2. Derajat Bebas

1. Derajat Bebas Total (db(T))

$$n_t - 1 \quad (4)$$

$$= 45 - 1 = 44$$

2. Derajat Bebas Antar Kelompok (db(A))

$$n_a - 1 \quad (5)$$

$$= 3 - 1 = 2$$

3. Derajat Bebas Dalam Kelompok (db(D))

$$n_t - n_a \quad (6)$$

$$= 45 - 3 = 42$$

3.1.3. Rata – Rata Jumlah Kuadrat (RJK)

1. Rata – rata Jumlah Kuadrat Antar Kelompok

$$RJK(A) = \frac{JK(A)}{db(A)} \quad (7)$$

$$= \frac{13910}{2} = 6955,022$$

2. Rata – rata Jumlah Kelompok Dalam Kelompok

$$RJK(D) = \frac{JK(D)}{db(D)} \quad (8)$$

$$= \frac{45631,6}{42} = 1086,467$$

3.1.4. F Hitung ANOVA

$$F_{hitung} = \frac{RJK(A)}{RJK(D)} \quad (9)$$

$$= \frac{6955,022}{1086,467} = 6,401505$$

3.1.5. Menyusun Tabel ANOVA

Dapat dilihat pada tabel 3 yaitu penyusunan tabel *one way Analysis Of Variance* (ANOVA), perhitungan uji *one way Analysis Of Variance* (ANOVA) didapatkan F_{hitung} (6,401505) dan F_{Tabel} (3,22), F_{Tabel} didapatkan dari tabel $F \alpha$ (Alpha) 0,05.). Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat diputuskan $F_{hitung} > F_{Tabel}$ (6,401505 > 3,22) maka H_0 ditolak, H_1 diterima. Sehingga ada perbedaan kecepatan putaran turbin spiral terhadap variasi sudu 2, variasi sudu 3 dan variasi sudu 4 dan dapat di dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan metode uji *fisher LSD* atau BNT (Beda Nyata Terkecil) untuk mengetahui kecepatan putaran turbin yang paling optimal dari variasi sudu turbin spiral.

Tabel 3. Penyusunan Tabel One Way ANOVA

Sumber Varian	JK	db	RJK	F_{hitung}	F_{Tabel}
Antar	13910,04	2	6955,022		
Dalam	45631,6	42	1086,467	6,401505	3,22
Total	59541,64	44	-		

3.2. Uji Lanjut Fisher LSD (BNT)

Dari hasil uji lanjut *fisher LSD* dengan membandingkan ketiga variasi sudu dapat disimpulkan kecepatan putaran turbin yang paling optimal terdapat pada variasi sudu 3 dengan rerata 156,33 rpm (kelompok dengan nilai sangat baik (A)).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian analisa variasi jumlah sudu terhadap performa turbin spiral horisontal pada *flow head* rendah, dapat disimpulkan yaitu telah dilakukan perhitungan menggunakan ANOVA satu jalur dan uji lanjut *Fisher LSD* (BNT) dengan membandingkan ketiga variasi sudu, sehingga dapat disimpulkan kecepatan putaran turbin yang paling optimal terdapat pada variasi sudu 3 dengan rerata 156,33 rpm (kelompok dengan nilai sangat baik (A)).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *Electr. Electron. Control Automot. Eng. Optim.*, vol. 1, no. 1, p. 7, 2016.
- [2] A. Sugiri, "Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross Flow)," *J. Mech.*, vol. 2, no. 1, p. 48, 2011.
- [3] I. Shodikin, "Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Sudu dan Debit Aliran Terhadap Daya Yang Dihasilkan Pada Turbin Pelton," *Simki-Techsain*, vol. 01, no. 01, pp. 3, 4, 2017.
- [4] Kusnadi, A. Mulyono, G. Pakki, and Gunarko, "Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro," *Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Metro*, vol. 7, no. 2, p. 207, 2018.
- [5] Nursalim, "Perancangan Dan Pengujian Turbin Kaplan Dengan Variabel Perubahan Ketinggian 4m, 3m, 2m Dan Perubahan Debit," p. 7, 2013.
- [6] E. Saefudin, T. Kristyadi, and T. S. Purwanto, "Perancangan Turbin Screw Untuk Pembangkit Listrik Mikrohidro Dengan Head Rendah," *itenas*, p. 138, 2017.
- [7] Y. A. Padang, I. D. K. Okariawan, and M. Wati, "Analisa Variasi Jumlah Sudu Berengsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross Flow Zero Head," *Din. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, p. 44, 2014.
- [8] A. H. Ahrori, M. Kabib, and R. Wibowo, "Perancangan dan Simulasi Turbin Pelton Daya Output Generator 20.000 Watt," *jurnal CRANKSHAFT*, vol. 2, no. 2, p. 24, 2019, doi: 10.24176/crankshaft.v2i2.3834.
- [9] I. Solihat, E. T. Astuti, and H. Rudiant, "Analisa Pengujian Turbin Air Jenis Crossflow Terhadap Variasi Debit," *J. Tek. Mesin CAKRAM*, vol. 2, no. 1, p. 25, 2019.
- [10] K. Setiawan, *Buku Ajar Metodologi Penelitian (Anova Satu Arah)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung, 2019.