



**ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN LAJU ALIRAN TERHADAP
PERFORMA TURBIN KAPLAN**

Ari Rachmad Afandi

421204156

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: ariafandi20@gmail.com

ABSTRAK

Turbin Kaplan adalah turbin yang menggunakan air sebagai fluida kerjanya. Turbin Kaplan termasuk kelompok turbin air reaksi jenis baling baling. Keistimewanya adalah sudu yang bisa diatur untuk menyesuaikan dengan kondisi aliran saat itu yaitu perubahan debit aliran. Air yang jatuh ditangkap oleh sudu sehingga poros berputar dan menggerakkan generator. Tujuan Penulisan tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan desain turbin Kaplan dengan jumlah sudu 3, 4, 5 dan debit aliran. Dari pengujian turbin Kaplan diperoleh hasil putaran turbin tertinggi berada pada jumlah sudu 3 dengan putaran rpm dan debit aliran. Hal ini dikarenakan pada jumlah sudu 3 yang menerima aliran air maksimal sehingga tekanan air yang mengenai sudu juga maksimal dan menyebabkan putaran turbin bertambah. Variasi yang digunakan adalah jumlah sudu 3, 4, 5 dan debit aliran. Dari data pengujian yang dilakukan diperoleh daya dan efisiensi turbin terbesar pada variasi jumlah sudu 3 yaitu 0.95 Watt dengan efisiensi sebesar 4,73 %.

Kata kunci: turbin Kaplan, daya, efisiensi

PENDAHULUAN

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, "asembli rotor-blade". Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Contoh turbin awal adalah kincir angin dan roda air.

Turbin gas, uap dan air biasanya memiliki "casing" sekitar baling-baling yang memfokus dan mengontrol fluid. "Casing" dan baling-baling mungkin memiliki geometri variabel yang dapat membuat operasi efisien untuk beberapa kondisi aliran fluid.

Energi diperoleh dalam bentuk tenaga "shaft" berputar. Turbin air dibagi menjadi 2 macam yaitu turbin aksi dan turbin reaksi

Turbin aksi, contoh: turbin pelton

Turbin reaksi, contoh: turbin francis dan turbin Kaplan

Turbin Reaksi, Turbin ini menghasilkan torsi dengan menggunakan tekanan atau massa gas atau fluida. Tekanan dari fluida berubah pada saat melewati sudu rotor. Pada turbin jenis ini diperlukan semacam sudu pada casing untuk mengontrol fluida kerja seperti yang bekerja pada turbin tipe multistage atau turbin ini harus terendam penuh pada fluida kerja (seperti pada kincir angin).

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.

Turbin air digunakan di PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) untuk mengubah energi dari air yang tertampung dibendungan untuk dikonvesrikan menjadi energi listrik yang dialirkan ke rumah masyarakat.

Air merupakan sumber energi yang sangat melimpah, terlebih pada saat musim penghujan. Oleh karena itu, air perlu dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi yang lain yaitu energi listrik. Pemanfaatan energi dari air untuk menjadi energi listrik membutuhkan suatu alat konversi energi, yaitu turbin air. Gaya potensial air akan mendorong sudu-sudu pada turbin air yang kemudian menggerakkan poros turbin dan selanjutnya akan diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik.

Pengertian Turbin air

Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

Fungsi Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Gaya jatuh air yang mendorong baling-

baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin, dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling digantikan air untuk memutar turbin. Perputaran turbin ini di hubungkan ke generator.

Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik. Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin

Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah turbin yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin reaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar

Hal-hal yang mempengaruhi performa turbin air

Debit aliran sejatinya sangat berpengaruh dalam performa turbin air, karena air yang jatuh atau ditangkap oleh baling baling ialah sebagai energy utama untuk memutar poros dan motor sehingga mampu menghasilkan aliran listrik. Untuk

mendapatkan debit aliran bisa menggunakan alat ukur flowmater atau rumus berikut:

$$y = \left(\frac{Q}{gb^2}\right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- Y = Kedalaman sungai (m)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s²)
- b = Lebar sungai (m)

$$Q = Vx A \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

- Q = Debit aliran (m³/s)
- V = Kecepatan aliran (m/s)
- A = Luas penampang aliran (m²)

Kecepatan aliran rata rata

Kecepatan aliran rata rata adalah kalkulasi dari kecepatan aliran, debit aliran, dan luas penampang. Semakin kencang kecepatannya maka semakin cepat pula putaran poros turbin yang akan menggerakkan motor sehingga mampy menghasilkan aliran listrik.

Kecepatan aliran rata rata dipengaruhi oleh tiga factor yaitu:

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- A = Luas penampang (m²)

Tinggi Air Jatuh (Head)

Tinggi air jatuh adalah jarak titik air yang akan jatuh dengan baling baling turbin, dapat diketahui dengan persamaan :

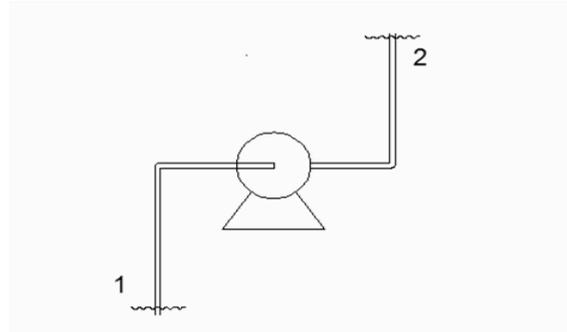
$$H = S \sin \Theta \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

- H = Head effisiensi (m)
- S = Jarak jatuh air (m)

Prinsip Bernoulli

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam [mekanika fluida](#) yang menyatakan bahwa pada suatu aliran [fluida](#), peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut.



Gambar 1. Prinsip bernoulli

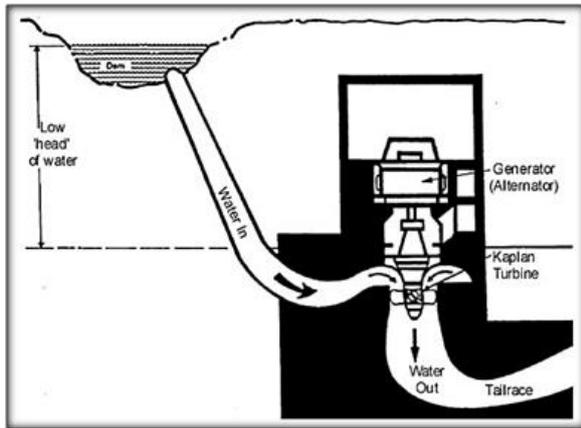
$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1\right) = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2\right)$$

Dimana :

- P₁ dan P₂ : tekanan pada titik 1 dan 2 (N/m²)
- V₁ dan V₂ : kecepatan aliran pada titik 1 dan 2 (m/s²)
- Z₁ dan Z₂ : perbedaan ketinggian antara titik 1 dan 2 (m)
- γ : berat jenis fluida (N/m³)
- g : percepatan gravitasi (m/s²)

Pengertian turbin Kaplan

Turbin air yang bekerja pada kondisi tinggi air jatuh yang berubah-ubah mempunyai kerugian, karena dalam perancangan sudu turbin telah disesuaikan bahwa perpindahan energi yang baik hanya terjadi pada “titik normal” yaitu pada kondisi perbandingan kecepatan dan tekanan yang tertentu. Bila terjadi penyimpangan yang besar baik keatas maupun kebawah, seperti yang terdapat pada pusat tenaga listrik sungai, maka efisiensi roda baling-baling turbin akan turun.



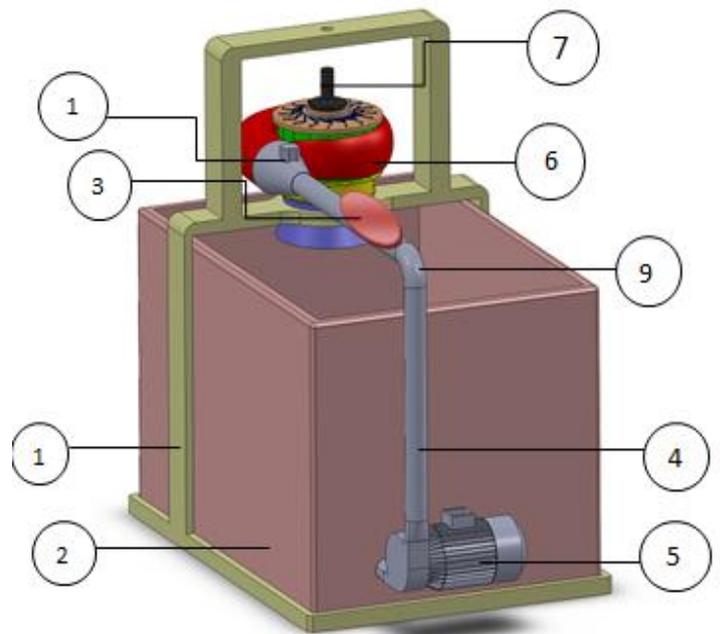
Gambar . perbandingan model sirip turbin Kaplan dan pengaruhnya pada kecepatan

Dalam perancangan turbin Kaplan sudah ada ketentuan seperti gambar diatas untuk menentukan desain yang akan dibuat, kota tinggal menggunakan parameter dimensi yang lain. Seperti tebal sirip, jumlah sirip yang akan digunakan, ataupun sudut yang akan digunakan pada sirip tersebut

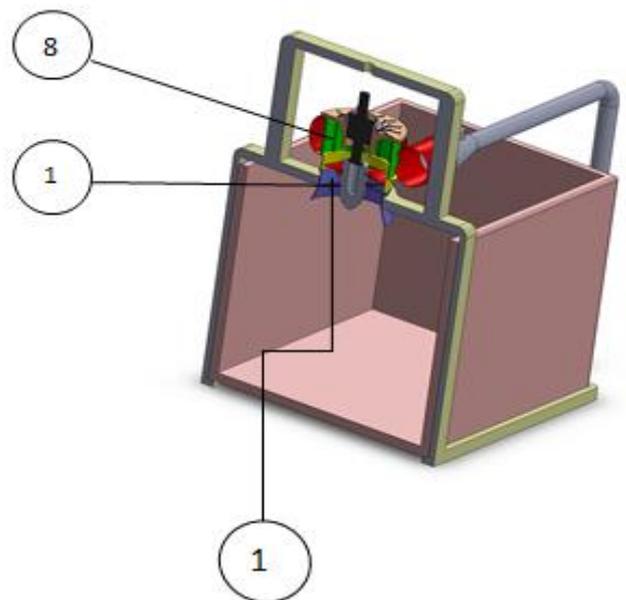
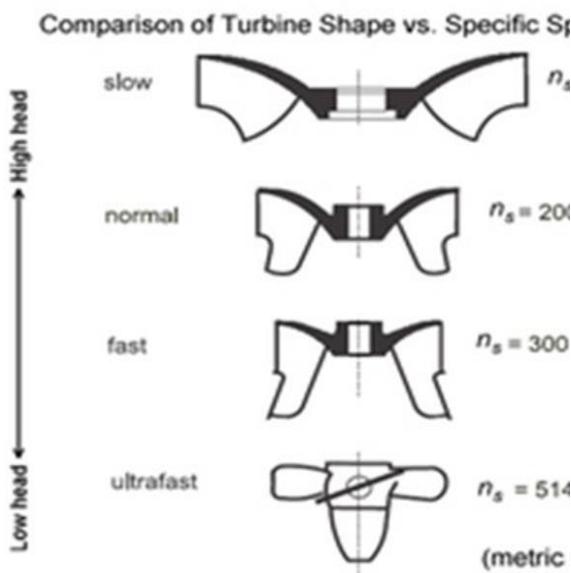
Gambar 1. Penerapan turbin kaplan.

Turbin Kaplan dipakai di pusat listrik tenaga air dengan tinggi air jatuh 80m. Daya yang dihasilkan turbin bisa lebih dari 100.000 kW. Karena sudu pengarah dan sudu jalan dapat diatur, maka turbin kaplan pada perubahan tinggi jatuh dan kapasitas air besar efisiensi juga tinggi. Turbin kaplan mempunyai keuntungan yang lebih murah, bila dipakai pada pusat tenaga listrik yang besar yang terdiri dari beberapa buah turbin air dan secara sendiri-sendiri masing-masing mesin dioperasikan untuk kapasitas air yang konstan.

Perencanaan prototype



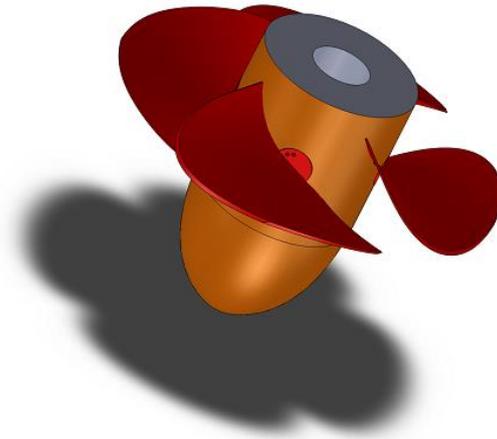
Perancangan turbin Kaplan



Nama komponen:

1. Rangka
2. Reservoir tank
3. Katup air
4. Pipa
5. Pompa
6. Rumah keong
7. Shaft
8. Sudu pengarah
9. Elbow
10. Flow meter
11. Pendulum
12. sudu

Sudu



Gambar . sudu turbin Kaplan

Sudu digunakan untuk menangkap air jatuh dari titi awal jatuh sehingga mampu menggerakkan poros dan memutar motor/generator. Dalam perancangan kali ini sudu yang digunakan untuk prototype turbin Kaplan berjumlah 3, 4, 5 dengan tebal 1mm

Rumah keong



Gambar . rumah keong

Berfungsi untuk menampung aliran air yang masuk dan berputar sebelum jatuh pada sudu. Dibagian bawah rumah keong ini titik jatuh awal air berada sedangkan titik jatuh air akhir berada pada permukaan sudu atau baling baling.

Flowmeter

Menggunakan flowmeter untuk mengetahui debit air yang masuk sebelum jatuh pada sudu. Flow meter ditaruh sebelum komponen rumah keong. Berfungsi untuk mengetahui debit air sehingga head pompa dan head turbin bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$\left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1\right) + H_p = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2\right) + H_{ls}$$

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + H_{ls}$$

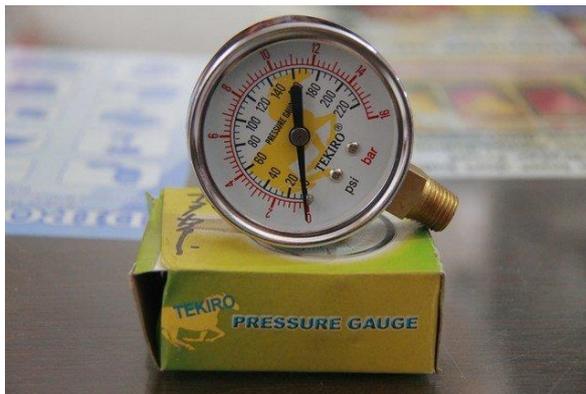
Alat ukur pendukung



Gambar : tachometer

Digunakan sebagai alat pengukur putaran pada Turbin maupun putaran Generator. Tachometer yang digunakan saat pengujian adalah type digital.

Manometer



Gambar . manometer

Manometer dalam perancangan ini digunakan untuk mengetahui tekanan air saat variasi laju aliran digunakan berapa tekanan air yang diberikan saat katup air yang awalnya terbuka penuh lalu ditutup dengan 2 putaran dan 3 putaran

Head pompa

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + H_{ls}$$

Menjadi,

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\gamma}$$

Kecepatan relative

$$V_r = V_1 - u \text{ (m/s)}$$

Dimana : V_1 = Kecepatan pancaran *air* (m/s)

u = Kecepatan keliling (m/s)

Sehingga melalui persamaan

$$D = \frac{60 \cdot U}{\pi \cdot n_t}$$

Didapatkan :

$$u = \frac{\pi \cdot D \cdot n_t}{60}$$

Dimana : D = Diameter *runner* (m)
 n_t = Putaran turbin (rpm)

maka

$$u = \frac{3,14 \cdot 0,08 \cdot n_t}{60}$$

Mencari harga V_1

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2}$$

Dimana: V_1 = kecepatan pancaran m/s
 Q = debit aliran m^3/s
 A = luas penampang m^2
 D^2 = diameter pipa m^3

Q = Kapasitas aliran (m^3/s)

Mencari harga kecepatan sudut (ω)

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60} \text{ (rad/s)}$$

Dengan memasukkan harga massa jenis air (ρ) 1000 kg/m^3 , kapasitas aliran (Q), kecepatan relative (V_r), harga $\cos \beta_2$ pada masing-masing sudut buang sudu ($\cos \beta_2$ $30^\circ = 0.866$), melalui (persamaan 2.14) maka bisa didapatkan besarnya harga gaya tangensial.

Efisiensi turbin

$$F_t = \rho \cdot Q(V_1 - U)(1 - \cos \beta_2)$$

$$\eta_t = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}}$$

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{\text{in}}}$$

$$\eta_t = \frac{(F \times r) \cdot \omega}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}$$

Dimana :

F = Gaya pancaran sudu (N)
 r = jari-jari *runner* (m)
 ω = Kecepatan sudut
 $= \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60}$ (rad/s)
 H = Head pompa (m)
 Q = Kapasitas aliran (m^3/s)

Maka,

$$\eta_t = \frac{(F \times r) \cdot \omega}{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}$$

Dimana :

F = Gaya pancaran sudu (N)
 r = jari-jari *runner* (m)
 ω = Kecepatan sudut
 $= \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60}$ (rad/s)
 H = Head pompa (m)

Daya input = Daya Pompa

$$P_p = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q$$

Daya output = Daya turbin

$$P_t = (F \cdot r) \cdot \omega$$

mencari nilai P total dari P pompa dan P turbin

$$P = \frac{P_t}{P_p},$$

PROSEDUR EKSPERIMEN

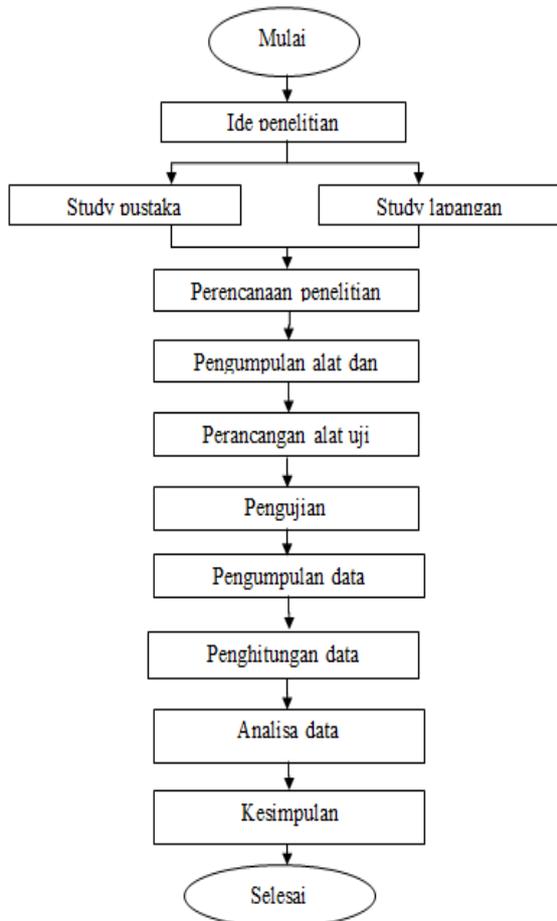
Pengujian pada prototype ini bertujuan untuk desain jumlah sudu mana yang mampu menghasilkan efisiensi dengan presentase terbesar. Karena di lab fluida sudah ada prototype turbin pleton penulis memutuskan untuk membuat prototyp turbin kaplan ini. Untuk memngetahui variasi jumlah sudu dan variasi laju aliran terhadap performasi turbin kaplan.

Jumlah sudu yang diuji yaitu:

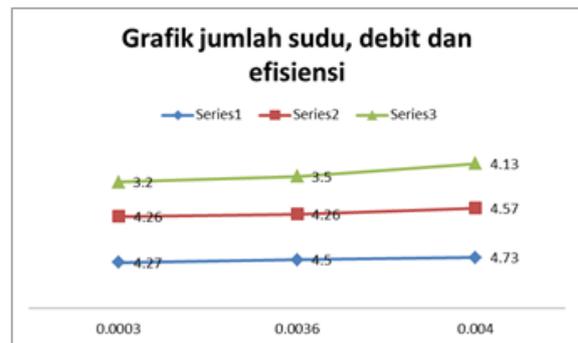
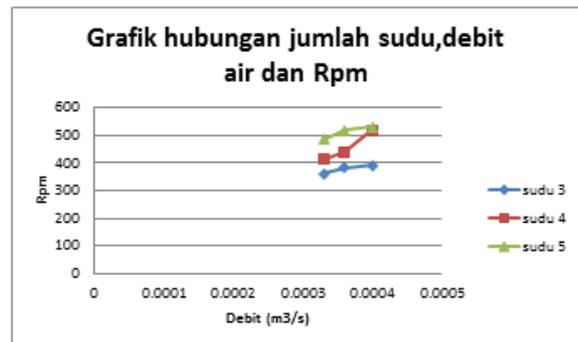
- Jumlah sudu 3
- Jumlah sudu 4
- Jumlah sudu 5

Dengan varisai laju aliran:

- Katup putaran penuh
- 2 putaran katup
- 3 putaran katup



Gambar 4. Diagram Alir Prosedur Penelitian



Dari pengujian turbin Kaplan diperoleh hasil putaran turbin tertinggi berada pada jumlah sudu 3 dengan putaran rpm dan debit aliran . Hal ini dikarenakan pada jumlah sudu 3 yang menerima aliran air maksimal sehingga tekanan air yang mengenai sudu juga maksimal dan menyebabkan putaran turbin bertambah. Variasi yang digunakan adalah jumlah sudu 3, 4, 5 dan debit aliran. Dari data pengujian yang dilakukan diperoleh daya dan efisiensi turbin terbesar pada variasi jumlah sudu 3 yaitu 0.95 Watt dengan efisiensi sebesar 4,73 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

No	Variabel	Debit Aliran								
		0.00033			0.00036			0.0004		
		Jumlah sudu			Jumlah sudu			Jumlah sudu		
	3	4	5	3	4	5	3	4	5	
1	Kecepatan keliling runner (m/s)	1,5	1,73	2,02	1,59	1,84	2,16	1,63	1,96	2,21
2	Kecepatan Relative (m/s)	2,7	2,7	2,7	2,95	2,95	2,95	3,27	3,27	3,27
3	kecepatan sudut (rad/s)	37,6	43,2	50,6	39,7	46,07	54,1	40,5	49,2	55,4
4	Gaya tangensial (N)	0,342	0,277	0,194	0,388	0,317	0,225	0,468	0,374	0,302
5	Efisiensi (%)	4.27	4.26	3.2	4.5	4.26	3.5	4.73	4.57	4.13
6	Daya pompa (watt)	3.78	3.78	3.78	4.13	4.13	4.13	4.45	4.45	4.45
7	Daya turbin (watt)	0,6	0,59	0,49	0,77	0,73	0,60	0,95	0,92	0,83

Tabel 1. Data hasil penelitian

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- Debit air yang jatuh pada sudu turbin sangat berperan besar dalam menghasilkan efisiensi yang tinggi, semakin banyak volume air yang jatuh semakin tinggi pula efisiensi yg dihasilkan oleh turbin tersebut. karena debit air yg jatuh terhadap sudu turbin akan memberikan putaran yang maksimal sehingga turbin mampu berputar dengan cepat
- Daya yang lebih besar terjadi pada debit aliran yang paling banyak, sehingga volume air yang jatuh mampu menggerakkan turbin secara efisien

Saran :

- Ada baiknya jika saat pengujian menggunakan debit aliran yang sedikit besar sehingga putaran yang dihasilkan oleh turbin bisa lebih maksimal
- Gunakan bahan yang ringan dalam pembuatan baling baling turbin sehingga air mampu menggerakkan atau memutar baling baling dengan ringan, sehingga putaran juga bisa lebih maksimal

Daftar pustaka

Giles, Renald V. B.S., M.S. in C.E. (1977). *Theory and Problem of Fluid Mechanics and Hydraulics (SI-Metric)*. 2nd Edition. McGraw-Hill. Inc. (Diterjemahkan oleh Ir. Hermawan Widodo Soemitro.(1990). Mekanika Fluida dan Hidraulika. Edisi; kedua (SI-Metrik). Jakarta.Erlangga.)

<http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/24300/Chapter%20II.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

<http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/683/jbptitbp-gdl-ardochrist-34105-3-2009ta-2.pdf>

http://www.academia.edu/32770068/Turbin_Air_Turbin_Kaplan

Marsudi, Djiteng. 2005. Pembangkit energy listrik. Jakarta : Erlangga

<http://repository.mercubuana.ac.id/13119/>