

PENGARUH VARIASI DIMENSI SUDU DAN LUAS SALURAN BUANG TERHADAP PRESTASI TURBIN VORTEX

Saudara V. Sihombing¹, Syahril Gultom², Terang UHSG³, Dian M. Nasution⁴, Farel H. Napitupulu⁵

Email:saudara_very@yahoo.com

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan
20155 Medan Indonesia

ABSTRAK

Turbin vortex adalah turbin yang memanfaatkan pusaran air sebagai penggerak sudu turbin dengan head yang rendah dan bisa digunakan pada aliran sungai. Pada penelitian ini digunakan 3 dimensi sudu yang berbeda dengan bentuk casing lingkaran dan memiliki 3 variasi saluran buang dan ketinggian poros dari dasar casing. Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan pompa sebagai sirkulator air dan menggunakan talang sebagai saluran masuk rumah turbin. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan, pembuatan turbin vortex, dan pengujian torsi turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudu 3, yaitu dengan dimensi tinggi 78,3 cm dan lebar 13,5 cm memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan sudu yang lainnya dengan menggunakan diameter saluran buang 7 cm.

Kata kunci : Turbin vortex, variasi dimensi sudu, variasi saluran buang, variasi ketinggian dari dasar casing

1. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan energi yang paling banyak digunakan di dunia adalah sumber energi fosil. Penggunaan energi tersebut secara terus menerus yang mengarah pada krisis energi membuat banyak orang untuk mencari sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi yang saat ini sedang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Alih fungsi turbin angin menjadi turbin air perlu dilakukan studi lebih lanjut tentangnya. Massa jenis air yang hampir 1000 kali lipat massa jenis udara menyebabkan gaya dan torsi yang mempengaruhi turbin semakin besar. Pembangkit listrik tenaga air saat ini menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan. Namun pemanfaatan yang ada masih menggunakan teknologi yang sederhana. Pembangkit Listrik jenis ini dalam proses pembuatannya sangat ekonomis namun masih dalam skala kecil. Artinya pembangkit-pembangkit ini hanya mampu mencukupi pemakaian energi listrik untuk sejumlah rumah saja. Jenis Pembangkit Listrik Tenaga Air ini sering disebut *Microhydro* atau sering juga disebut *Picohydro* tergantung keluaran daya listrik yang dihasilkan.

Microhydro ataupun *Picohydro* yang dibuat biasanya memanfaatkan air terjun dengan *head* jatuh yang besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* jatuh yang kecil belum termanfaatkan dengan optimal. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex* [1].

Seorang Peneliti dari Jerman Viktor Schauburger mengembangkan teknologi aliran *vortex* (pusaran) untuk diterapkan pada pemodelan turbin air. Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak. Fenomena aliran *vortex* sering kali dijumpai pada pemodelan sayap pesawat, aliran *vortex* cenderung dianggap sebagai suatu kerugian dalam suatu aliran fluida. Dalam penelitiannya Viktor Schauburger, memanfaatkan aliran irigasi yang kemudian diubah menjadi aliran *vortex* (pusaran), yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan sudu turbin. Dari penelitian ini didapatkan efisiensi sebesar 75 % dengan tinggi air jatuh 0,7 m. Namun pada penelitiannya Viktor Schauburger tidak menjelaskan pengaruh luas sudu turbin. Bertolak dari kondisi tersebut di atas maka penyusun melakukan penelitian untuk melihat pengaruh luas sudu turbin terhadap performansi turbin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Vortex adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (streamline) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antar lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh di dalamnya [2].

Sifat-sifat dari pusaran air:

1. Tekanan air di dalam pusaran yang paling kecil adalah di pusat pusaran dan semakin meningkat seiring dengan semakin besarnya jarak pusaran dari pusat. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli, dimana tekanan berbanding terbalik dengan kecepatan.
2. Pusat dari setiap pusaran dapat dianggap mengandung garis pusaran, dan setiap partikel air dalam pusaran dapat dianggap berotasi di garis pusaran.
3. Dua atau lebih pusaran yang kira-kira sejajar dan berotasi/berputar dalam arah yang sama akan bergabung untuk membentuk sebuah pusaran tunggal.
4. Gerakan rotasi pada pusaran menimbulkan energi yang cukup besar. Apabila suatu benda diletakkan di sekitar pusaran, maka pusaran air seolah-olah menyedot benda tersebut, berputar-putar menuju inti.

Pergerakan aliran fluida dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Translasi murni atau translasi irrotasional
2. Rotasi murni atau translasi rotasional
3. Distorsi atau deformasi murni, baik angular ataupun linier

Berdasarkan klasifikasi aliran berputar yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari maka aliran *vortex* dapat dibedakan menjadi tiga bagian, yaitu :

1. Aliran *vortex* Bebas

Aliran *vortex* terjadi walaupun tidak adanya gaya yang dilakukan pada fluida tersebut. Karakteristik dari *vortex* bebas adalah kecepatan tangensial dari partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat *vortex*. Hubungan kecepatan partikel fluida v terhadap jaraknya dari pusat putaran r dapat dilihat pada persamaan ini:

$$V = \frac{\Gamma}{2\pi r}$$

Dimana:

V = kecepatan tangensial fluida (m/s)

r = jari-jari putaran partikel fluida dari titik pusat (m)

Γ = Sirkulasi

2. Aliran *Vortex* Paksa

Apabila suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan maksud membuat aliran fluida berputar. Hubungan kecepatan partikel fluida v terhadap jaraknya dari pusat putaran r dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V = r \cdot \omega$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut(rad/s)

r = jari-jari putaran (m)

3. Aliran *Vortex* Kombinasi

Aliran *Vortex* Kombinasi adalah *vortex* dengan *vortex* paksa pada inti pusatnya dan distribusi kecepatan yang sesuai dengan *vortex* bebas pada luar intinya. Jadi untuk sebuah *vortex* kombinasi dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$v_{\theta} = \omega r \quad r \leq r_{\theta} \quad \text{dan}$$

$$v_{\theta} = \frac{K}{r} \quad r > r_{\theta}$$

dimana K dan ω adalah konstanta dan r_{θ} adalah jari-jari inti pusat.

Turbin air adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi kinetik dari arus air. Fungsi utamanya adalah mengubah energi air menjadi energi listrik. Turbin air dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu turbin reaksi dan turbin impuls, dimana secara garis besarnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, energi yang tersedia pada saluran masuk hanya sebagian saja yang dirubah menjadi energi kinetik sedangkan sisanya tetap dalam bentuk energi tekan. Ketika air mengalir melalui roda gerak / runner terjadi perubahan energi tekan menjadi energi kinetik secara berangsur-angsur. Tekanan pada sisi masuk roda gerak lebih tinggi dibandingkan tekanan pada sisi keluar roda gerak turbin, dimana tekanan tersebut bervariasi terhadap laju aliran fluida yang melalui turbin. Selanjutnya agar perubahan tekanan ini dapat terjadi, maka roda gerak / runner dalam hal ini harus tertutup dari udara luar dan seluruhnya terisi air selama turbin beroperasi [3].

Beberapa contoh dari Turbin Reaksi adalah:

a. Turbin Francis

Turbin ini dipasang diantara sumber tekanan air tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya.

b. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan merupakan turbin reaksi aliran aksial. Turbin ini terusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu.

c. Turbin Vortex

Turbin Vortex merupakan turbin reaksi aliran radial. Turbin ini mempunyai head rendah yaitu antara 0,7 m sampai 3 m. Turbin ini mempunyai efisiensi mencapai 75 %.

2. Turbin Impuls

Pada turbin impuls energi potensial air dirubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air keluar nosel yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah turbin tekanan sama karena aliran air yang keluar dari nosel tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya.

Beberapa contoh dari turbin impuls adalah:

a. Turbin Pelton

Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk *head* tinggi.

b. Turbin Crossflow

Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter / det hingga 10m³ / det dan *head* antara 1 s/d 200m. Turbin Crossflow menggunakan nosel persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetis menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air ke luar silinder. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah

20% nya dari tahap pertama. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

Berdasarkan tinggi tekan (*head*) turbin dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Turbin Tinggi Tekan (*head*) rendah Adalah turbin yang dapat bekerja pada *head* 0,7 - 15 m. Turbin Vortex dan turbin kaplan adalah contoh turbin yang dipergunakan untuk *head* rendah.
2. Turbin Tinggi Tekan (*head*) menengah Adalah turbin yang dapat bekerja pada *head* 16-70 m. Turbin Francis adalah contoh turbin yang dipergunakan untuk *head* menengah.
3. Turbin Tinggi Tekan (*head*) tinggi Adalah turbin yang dapat bekerja pada *head* 71-500 m. Turbin Pelton adalah contoh turbin yang dipergunakan untuk *head* tinggi.
4. Turbin Tinggi Tekan (*head*) sangat tinggi Adalah turbin yang dapat bekerja pada *head* >500 m. Turbin Pelton dengan berbagai macam penyesuaian adalah contoh turbin yang dipergunakan untuk *head* sangat tinggi [4].

Performansi pada turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai tersebut maka data yang diperlukan adalah kecepatan sudut (ω) dan torsi (T).

$$P = T \cdot \omega$$

Dimana :

P = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan sudut (rad /s)

Untuk menghitung Torsi (T) adalah :

$$T = F \cdot l$$

Dimana :

l = panjang lengan (m)

F = Gaya (N)

Untuk menghitung kecepatan sudut adalah :

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

Dimana :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

n = putaran turbin (rpm)

Untuk efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \times 100\%$$

Dimana :

P_{turbin} = Daya turbin (Watt)

P_{air} = Daya air (Watt)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Uji eksperimental Turbin Vortex dilakukan di *rooftop* lantai empat Teknik Mesin USU.

Turbin vortex bekerja pada head rendah dengan ketinggian air jatuh antara 0,7 m – 3 m. Sebagai simulasi atau pengkondisian dari air mengalir yang berada di alam. Dalam uji eksperimental turbin vortex ini, dibuat turbin vortex, adapun beberapa pekerjaan yang dilakukan adalah:

1. Pembuatan sudu dari bahan besi plat.
2. Pembuatan poros dari bahan steell 42.
3. Pembuatan dudukan turbin dari bahan besi siku.
4. Pembuatan rumah turbin (*casing*) dari bahan *batako*.
5. Pembuatan saluran buang dari baja

Ditambah beberapa instalasi yang mendukung turbin vortex. Adapun penambahan beberapa instalasi yang dilakukan adalah:

1. Instalasi saluran perpipaan untuk air masuk.
2. Instalasi dudukan talang.
3. Instalasi dudukan pengujian Turbin vortex.
4. Instalasi saluran buangan air pada Turbin vortex.

Turbin Vortex yang digunakan dalam uji eksperimental turbin vortex adalah sudu 2 dan sudu 3 yang memiliki 4 buah blade.

Sudu 2 memiliki tinggi 78,3 cm dan lebar 23,2 cm. Sudu 3 memiliki tinggi 78,3 cm dan lebar 13,5 cm. Variasi saluran buang yang digunakan adalah 5,5 cm, 6 cm dan 7 cm. Ketinggian poros dari dasar casing adalah 0,1 cm, 1,1 cm, 2,1 cm dan 3,1 cm.

Diameter dalam rumah turbin (casing) adalah 0,8 m dan diameter luar nya 1 m. Dengan tinggi jatuh air (h) = 0,8 m.

Uji eksperimental turbin vortex dilakukan di *rooftop* lantai empat, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Pengukuran-pengukuran yang dilakukan terhadap penelitian ini meliputi:

1. Pengukuran putaran (rpm) poros turbin vortex dengan menggunakan *Hand Tachometer*.
2. Pengukuran beban (kilogram) dengan menggunakan Timbangan Pegas.
3. Pengukuran debit air dengan menggunakan flowmeter

Sebelum dilakukan pengujian turbin vortex dan pengambilan data, terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan (*checking*) terhadap beberapa instalasi dan peralatan, yang meliputi:

1. Pemeriksaan debit air di dalam tempat penampungan bawah.
2. Pemeriksaan pipa penghubung antara pompa pengumpan dan talang.
3. Pemeriksaan katup (*valve*).
4. Pemeriksaan poros turbin vortex serta pemberian pelumas pada bearing.
5. Pemeriksaan tali dan *pulley*.
6. Pemeriksaan pompa pengumpan.

Setelah prosedur pemeriksaan terhadap beberapa instalasi dan peralatan di atas selesai dilakukan dan pemeriksaan dipastikan dalam kondisi *standby*, maka prosedur pengujian pun dapat dimulai. Adapun prosedur pengujian uji eksperimental turbin vortex adalah sebagai berikut:

1. Pengujian pertama dilakukan dengan menggunakan sudu 2 dengan ketinggian 0,1 cm dari dasar casing dan saluran buang 5,5 cm.
2. Katup pada sisi masuk talang dibuka 30°.
3. Hidupkan pompa pengumpan.
4. Dilakukan *monitoring* terhadap ketinggian air di dalam tempat penampungan bawah.
5. Setelah ketinggian air di bak konstan, maka dilakukan pengujian serta pengambilan data terhadap:
 - a. Pengukuran putaran (rpm) pada poros turbin vortex dengan menggunakan *hand tachometer*.
 - b. Pengukuran beban dilakukan dengan menggunakan timbangan pegas.
6. Setelah data didapat, ketinggian poros dari dasar casing dinaikkan menjadi 1,1 cm sampai dengan 3,1 cm.
7. Pergantian saluran buang menggunakan 6 cm dan 7 cm.
8. Pengukuran terhadap beberapa variabel di atas dilakukan terhadap debit bukaan 30°, debit bukaan 60° dan debit bukaan 90°.
9. Setiap pengambilan data dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk mendapatkan data pengujian yang lebih akurat.
10. Setelah pengujian pada turbin vortex selesai, maka dilakukan pergantian dengan menggunakan sudu 3. Kemudian dilakukan pengujian kembali seperti prosedur diatas dengan variabel yang sama.

Besaran-besaran yang diukur dan dicatat meliputi:

- a. Putaran poros (rpm)
- b. Beban yang diberikan (kilogram)
- c. Debit air masuk (m³/s)

Dari besaran-besaran di atas dapat dihitung besaran turunan lainnya seperti:

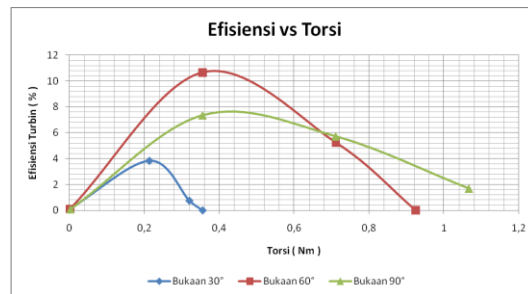
1. Daya Air
2. Daya Turbin Vortex
3. Efisiensi Turbin Vortex

Setelah pengujian di atas, dilakukan pengujian debit air dengan prosedur sebagai berikut:

1. Katup air dibuka.
2. Pompa pengumpan dihidupkan dan air dipompakan dari tempat penampungan bawah ke talang.
3. Dengan melihat flowmeter maka akan didapat debit aliran di setiap bukaan katup.

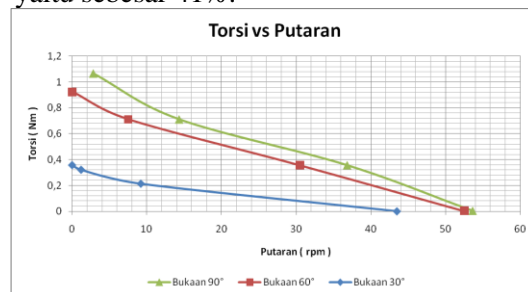
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji performansi turbin vortex menggunakan variasi dimensi sudu 1 dan 3 dan luas saluran buang serta ketinggian dari dasar casing terhadap prestasi turbin vortex adalah sebagai berikut:



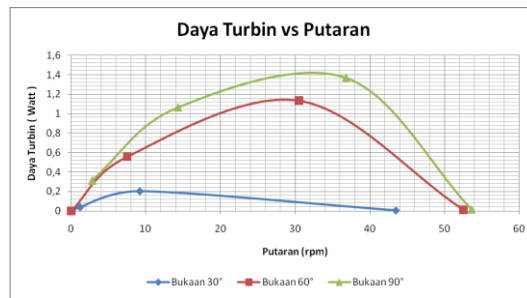
Gambar 4.1 Efisiensi vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 5,5 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.1 Efisiensi Turbin vs Torsi di dapat perbandingan antara efisiensi dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Dari grafik di atas di dapat data bahwa efisiensi maksimum pada percobaan turbin vortex menggunakan sudu 1, saluran buang 5,5 cm dengan ketinggian 0,1 cm terdapat pada bukaan 60° yaitu sebesar 41%.



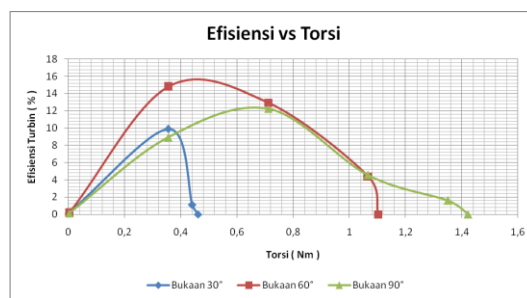
Gambar 4.2 Grafik Putaran vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 5,5 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.29 Putaran Turbin vs Torsi di dapat hubungan antara putaran turbin dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Sehingga di dapat hasil dari grafik di atas adalah semakin besar torsi yang di gunakan semakin kecil putaran turbin yang di peroleh. Torsi dan putaran maksimal didapat pada bukaan 90°.



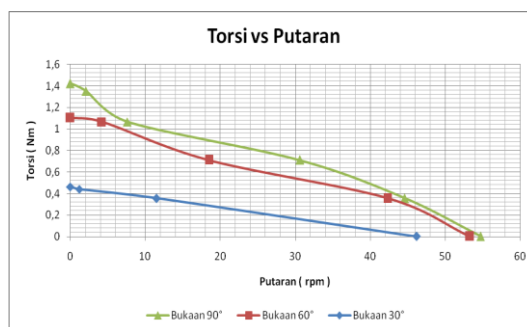
Gambar 4.3 Grafik Putaran Turbin vs Daya Turbin menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 5,5 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari grafik 4.3 putaran turbin vs daya turbin di dapat hubungan antara putaran turbin dengan daya turbin pada bukaan katub bukaan 30°, 60° dan 90°. Dari grafik di atas di dapat data bahwa daya turbin maksimum di dapat pada bukaan 90° putaran 117 rpm dengan daya sebesar 4,3 watt.



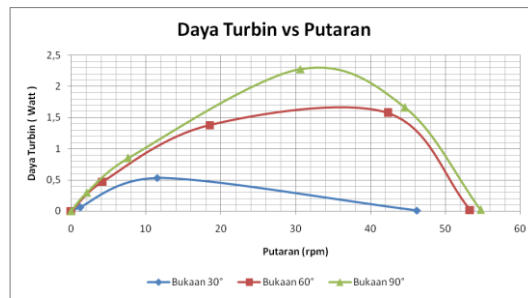
Gambar 4.4 Grafik Efisiensi vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 6 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.4 Efisiensi Turbin vs Torsi di dapat perbandingan antara efisiensi dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Dari grafik di atas di dapat data bahwa efisiensi maksimum pada percobaan turbin vortex menggunakan sudu 2, saluran buang 6 cm dengan ketinggian 0,1 cm terdapat pada bukaan 60° sebesar 4,3%.



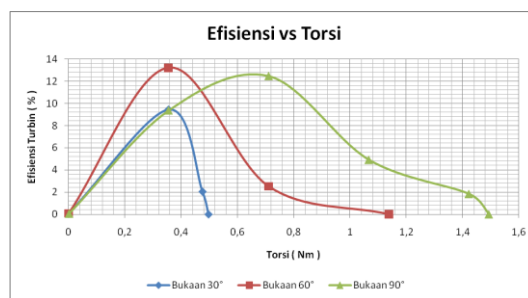
Gambar 4.5 Grafik Putaran vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 6 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.5 Putaran Turbin vs Torsi di dapat hubungan antara putaran turbin dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Sehingga di dapat hasil dari grafik di atas adalah semakin besar torsi yang di gunakan semakin kecil putaran turbin yang di peroleh. Torsi dan putaran maksimal didapat pada bukaan 90°.



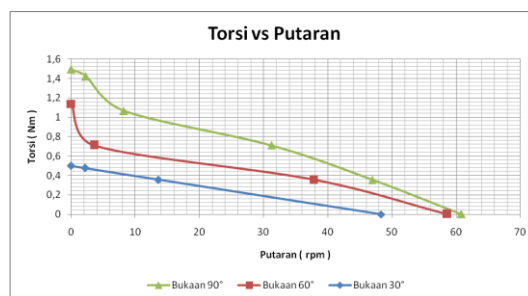
Gambar 4.6 Grafik Putaran Turbin vs Daya Turbin menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 6 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari grafik 4.6 putaran turbin vs daya turbin di dapat hubungan antara putaran turbin dengan daya turbin pada bukaan katub bukaan 30°, 60° dan 90°. Dari grafik di atas di dapat data bahwa daya turbin maksimum di dapat pada bukaan 90° putaran 123 rpm dengan besar daya 4,5 watt.



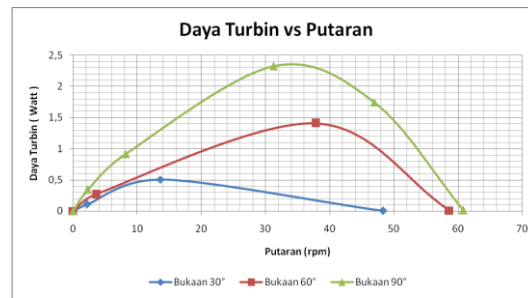
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 7 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.7 Efisiensi Turbin vs Torsi di dapat perbandingan antara efisiensi dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Dari grafik di atas di dapat data bahwa efisiensi maksimum pada percobaan turbin vortex menggunakan sudu 1, saluran buang 7 cm dengan ketinggian 0,1 cm terdapat pada bukaan 60° yaitu sebesar 44 %.



Gambar 4.8 Grafik Putaran vs Torsi menggunakan sudu 1 pada bukaan 30°, 60° dan 90° saluran buang 7 cm dengan ketinggian 0,1 cm.

Dari gambar 4.8 Putaran Turbin vs Torsi di dapat hubungan antara putaran turbin dengan torsi pada bukaan 30°, 60° dan 90°. Sehingga di dapat hasil dari grafik di atas adalah semakin besar torsi yang di gunakan semakin kecil putaran turbin yang di peroleh. Torsi dan putaran maksimal didapat pada bukaan 90°.



Gambar 4.9 Grafik Putaran Turbin

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uji eksperimental turbin vortex menggunakan sudu 2 dan 3 didapat beberapa kesimpulan:

1. Sudu 3 lebih efisien di bandingkan dengan sudu 1 karena ukuran sudu 3 yang sesuai dengan ukuran pusaran pada turbin vortex, yang mengakibatkan energi yang dihasilkan lebih maksimal.
2. Daya turbin maksimal di dapat pada sudu 3 dengan menggunakan saluran buang 7 cm, ketinggian 0,1 cm dari dasar casing pada bukaan 90°, yaitu:
 - a. Daya Turbin : 4,86 watt
 - b. Torsi maksimal : 1,06 Nm
 - c. Putaran poros : 130,8 rpm
3. Efisiensi turbin maksimal di dapat pada sudu 3 pada bukaan 60°, yaitu :
 - a. Efisiensi : 44,2 %
 - b. Putaran poros : 126,5 rpm

Untuk rancang bangun pembangkit listrik mikro hidro menggunakan turbin vortex (dengan spesifikasi : *head (H)* 0,8 meter, *diameter dalam rumah turbin* 0,8 meter, *jumlah blade* 4) berikutnya di harapkan melakukan penelitian terhadap jumlah sudu. Misalnya dengan membandingkan data yang di hasilkan dengan menggunakan 8 sampai 10 sudu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Frizt Dietsel, Dakso Sriyono. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta. 1990.
- [2] L. V. Steeter dan Wylie B. 1993. *Mekanika Fluida*. Edisi Kedelapan. Jakarta: Erlangga
- [3] Munson, Bruce. 2005. *Mekanika Fluida*, Edisi Keempat Jilid 2. Jakarta: Erlangga
- [4] M.M. Dandekar, K.N. Sharma. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. UI. Press Jakarta: Erlangga.