

Studi Eksperimental Pengaruh *Solidity* 45% Terhadap Performasi Turbin Gorlov *Multyblade*

Apri Dwi Wibowo¹, Tris Sugiarto²

^{1,2} Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto
email: apri.tm@yahoo.com, trismesin88@yahoo.com

Abstrak

Kinerja turbin Gorlov sangat dipengaruhi oleh profil sudu dan soliditas yang digunakan, maka dari itu terus dilakukan beberapa kajian untuk dapat meningkatkan kinerja turbin Gorlov dengan pengaruh soliditas. Berawal dari permasalahan tersebut maka pada skripsi ini akan membahas mengenai kaji teoritik dan eksperimental turbin air Gorlov dengan menggunakan airfoil 0020 dan soliditas 20%. Kaji teoritik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD NUMECA. Perhitungan torsi teoritik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Kaji eksperimental dilakukan pada saluran irigasi induk pucang, kecamatan Bawang, kabupaten Banjarnegara. Hasil eksperimental adalah ada pengaruh dengan solidity 20% pada turbin Gorlov terhadap kinerja yang dihasilkan. Torsi yang dihasilkan pada kaji numerik sebesar 0.060371 Nm dan pada kaji eksperimental sebesar 1.126188 Nm, Daya yang dihasilkan pada kaji numerik sebesar 0.289929 Nm dan pada kaji eksperimental sebesar 3.0129 Nm. Efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 2.796 %, Dibandingkan dengan turbin Gorlov yang direkomendasikan efisiensi yang didapat dari turbin yang diuji masih jauh dibawah yang sebenarnya sebesar 45%.

Keywords: *turbin air Gorlov, NUMECA, daya.*

1. Pendahuluan

Kebutuhan akan energi yang ramah lingkungan ikut berperan dalam pengembangan energi alternatif, karena seperti diketahui bersama bahwa energi yang berasal dari bahan bakar fosil dapat merusak lingkungan. Di Indonesia, sebenarnya cukup banyak sumber-sumber energi alternatif yang tersedia akan tetapi sumber energi air yang paling memiliki potensi untuk pengembangan yang lebih baik dan juga energi air yang ada di alam sangat melimpah khususnya di Indonesia. Melihat potensi air yang cukup besar dan termasuk energi yang terbarukan maka penulis mencoba mengembangkan potensi tersebut. Karena semakin berkembangnya turbin-turbin air yang tidak memerlukan bendungan^[1]. Selain itu turbin-turbin tersebut mempunyai efisiensi yang tinggi dibandingkan turbin-turbin yang sudah ada sebelumnya. Banyak jenis turbin yang dikembangkan, penulis mencoba dengan turbin Gorlov yang mempunyai bentuk helik dan mempunyai efisiensi yang paling tinggi di kelasnya^[2].

Turbin air adalah suatu alat untuk mengubah energi air menjadi energi puntir. Energi air yang meliputi energi potensial termasuk komponen tekanan dan kecepatan aliran air yang terkandung didalamnya merubah menjadi energi kinetik untuk memutar turbin. Energi puntir yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator. Untuk menghasilkan energi secara umum komponen turbin terdiri poros dan sudu-sudu serta sudu tetap (*stationery blade*) yang tidak ikut berputar. Dengan potensi diatas, maka akan dilakukan penelitian pada turbin Gorlov 3 *blade*, untuk mengetahui pengaruh *solidity* 45% pada turbin Gorlov 3 *blade* terhadap unjuk kerja yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja turbin Gorlov 3 *blade* dengan pengaruh *solidity* 45%, dan manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah: Secara teoritis dapat dipakai untuk mengetahui pengaruh dari besarnya *solidity* 45% pada turbin Gorlov 3 *blade* terhadap

daya, torsi, dan efisiensi yang dihasilkan dan memberikan sumbangan pemikiran yang dapat dipakai sebagai bahan referensi dan bahan pertimbangan dalam pengembangan dibidang teknologi. Batasan masalah pada penelitian ini adalah Studi numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) *Numeca* 2D, penampang airfoil yang digunakan NACA 0020, nilai *solidity* 45%, studi eksperimental dilakukan pada saluran terbuka.

2. Prosedur Penelitian

2.1 Mendesain airfoil NACA 0020

Mendesain turbin Gorlov dalam bentuk gambar 3D dan 2D pada *softwarwe Autodesk Inventor 2011*. Melakukan kaji numerik dengan menggunakan perangkat lunak CFD (*Computational Fluid Dynamics*), dengan membuat model turbin Gorlov yang akan dilakukan uji eksperimental sesuai dengan desain yang telah dibuat. Melakukan uji eksperimental pada model turbin Gorlov tersebut yang dilakukan di saluran irigasi induk pucang, kecamatan Bawang, kabupaten Banjarnegara. Memvalidasi data analitik dengan cara membandingkan data analitik yang didapat dari kaji numerik dengan data yang didapat dari hasil uji eksperimental. yang berfungsi hanya untuk mengarahkan aliran fluida sedangkan sudu putar (*rotary blade*) mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menimbulkan gaya yang memutar poros. Dibawah ini merupakan perbandingan efisiensi dari masing-masing turbin jenis turbin *Propeller* dan turbin *Cross-Flow*.

2.2 Turbin Gorlov Helikal

Turbin Gorlov Helikal adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995, mengubah energi kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, [2]. Jenis turbin ini diperuntukan untuk energi arus sungai (*river energy*), energi arus laut (*marine energy*) dan energi arus pasang-surut (*tidal energy*). Turbin yang berbentuk skrup dapat menangkap energi kinetik pada air yang mengalir. Dengan sudu turbin berbentuk skrup membuat turbin mendapat sudut serang yang bagus pada arus yang datang, ini menjadikan suatu putaran torsi yang tetap pada turbin dan mengurangi getaran yang ada. Dalam kaitanya harus diberikan geometri airfoil pada *blade* turbin, agar turbin seperti skrup ini mempunyai satu arah dalam berputar tidak terikat pada aliran arah fluida. Ini mempertimbangkan aplikasi percepatan arus yang sangat rendah dan mempunyai efisiensi yang maksimum sampai 35%. Keuntungan dari turbin Gorlov seperti skrup ini sebagai berikut :

- Turbin membutuhkan ketinggian untuk mendapatkan percepatan ($\frac{v^2}{2g}$) bukan tekanan ($\frac{v}{g}$).
- Turbin dapat berputar sendiri mulai dari kecepatan air yang rendah yaitu, 0,5 m/s.
- Kecepatan tinggi, bebas getaran, berputar dengan kecepatan aliran fluida rendah.
- Getaran rendah yang terjadi tidak mengakibatkan goyangan pada arus listrik.
- Efisiensi yang tinggi

Perputaran turbin yang searah pada aliran fluida yang berubah arah. Hal ini merupakan kelebihan yang penting jika digunakan pada arah aliran yang berubah-ubah. Karakteristik yang demikian didapat akibat Gorlov merupakan tipe turbin *cross-flow* dan menggunakan sudu turbin berupa airfoil yang mekanisme kerjanya berdasarkan gaya *lift*. telah mempelajari secara eksperimental pengaruh soliditas, kecepatan air terhadap kinerja turbin air *Darrieus* yang mempunyai tiga sudu dengan jenis sudu lurus dan heliks.

Soliditas sangat kecil pengaruhnya terhadap kinerja akan tetapi semakin besar soliditas maka turbin akan semakin turun putarannya atau sebaliknya. Untuk kecepatan air yang berbeda maka akan semakin berubah kinerjanya yang mana apabila kecepatan air semakin tinggi maka semakin besar efisiensinya.



Gambar 2. Turbin Gorlov 3 blade

Selain itu juga kemiringan (bentuk heliks) sudu atau sudu turbin Gorlov pada sudut heliks $43,7^0$ mempunyai efisiensi yang paling tinggi dibanding dengan sudut heliks lainnya yang mana efisiensi tertingginya adalah sekitar 15%.

2.3 Parameter Unjuk Kerja Dan Performa Turbin Gorlov

a. Daya turbin

$$P_t = \omega \cdot T \quad (1)^{[3]}$$

Dimana :

P_t = daya turbin (Watt)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

T = torsi (Nm)

b. Kecepatan sudut turbin

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \left(\frac{rad}{s} \right) \quad (2)$$

Dimana :

ω = kecepatan sudut (rad/s)

N = putaran poros (rpm)

c. Gaya turbin

$$F = g \cdot W \quad (3)^{[3]}$$

Dimana :

F = gaya yang dihasilkan (N)

G = gravitasi – 9,81 (m/s)

W = berat (kg.f)

d. Torsi turbin

$$T = F \cdot L \quad (4)^{[3]}$$

Dimana :

T = torsi (Nm)

F = gaya (N)

L = panjang lengan timbangan (m)

e. Daya air

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)^{[1]}$$

Dimana :

P_a = daya air (Watt)

ρ = masa jenis air (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan air (m/s)

f. Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100 \quad (6)^{[3]}$$

Dimana :

η_t = efisiensi turbin (%)

P_t = daya turbin (Watt)

P_a = daya air (Watt)

g. Tip Speed Ratio (TSR)

$$TSR = \frac{\omega r}{v} \quad (7)^{[3]}$$

Dimana :

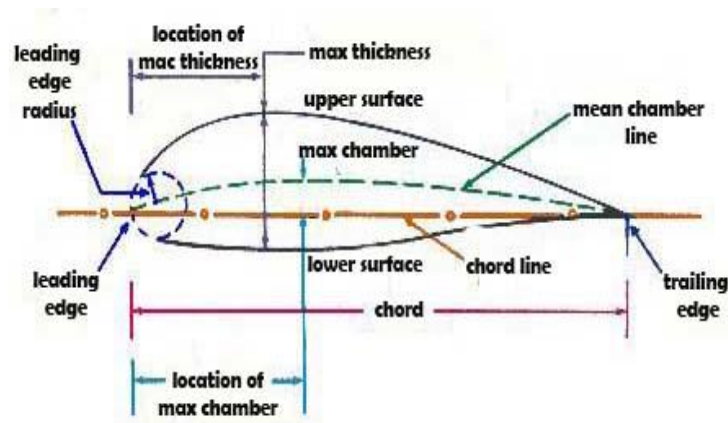
ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = jari – jari turbin (m)

v = kecepatan air (m/s)

2.3 Airfoil

Airfoil adalah bentuk bangun yang dapat menghasilkan gaya angkat besar dengan hambatan sekecil mungkin. Karena dapat menghasilkan gaya *lift* yang besar dengan hambatan yang kecil inilah *airfoil* dipilih sebagai komponen sayap pesawat terbang.



Gambar 2.3. Nomenklatur airfoil

Airfoil yang efisien adalah airfoil yang penampangnya hampir seperti tetesan air. Berikut adalah bagian bagian dari airfoil:

- Leading Edge*, adalah bagian yang paling depan dari sebuah airfoil.
- Trailing Edge*, adalah bagian paling belakang dari sebuah airfoil.
- Chamber line*, adalah garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah airfoil.
- Chord line*, adalah garis yang menghubungkan antara *leading edge* dan *trailing edge*.
- Chord*, adalah jarak antara *leading edge* dan *trailing edge*.
- Maximum chamber*, adalah jarak maksimum antara *mean chamber line* dan *chord line*. Posisi maksimum chamber diukur dari *leading edge* dalam bentuk persentase *chord*.
- Maximum thickness*, adalah jarak maksimum antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap *chord line*.

Airfoil yang bila dialiri udara dengan arah sejajar dengan tali busur (*chord*)nya, tidak bisa menghasilkan gaya angkat disebut juga airfoil simetris.

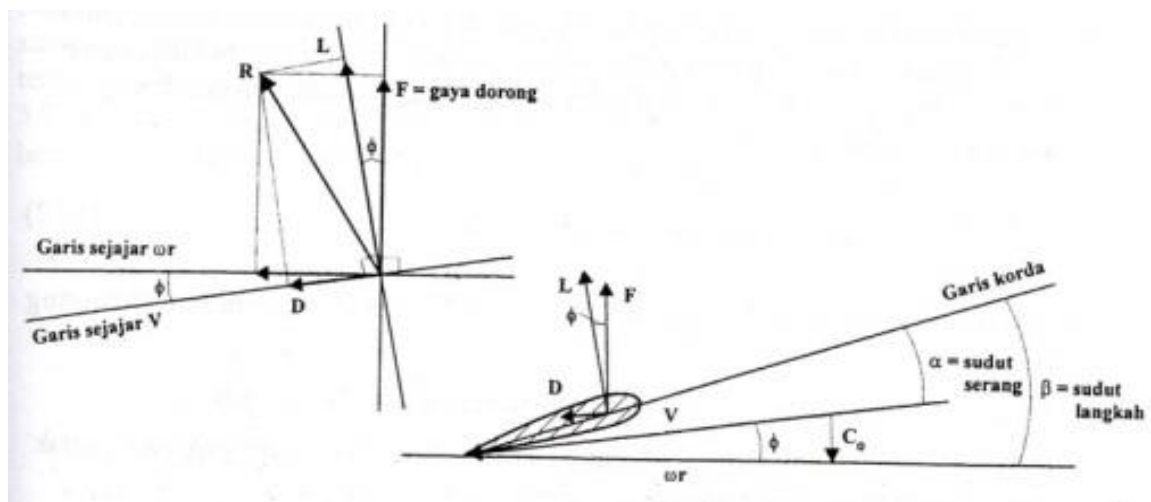


Gambar 2.4. Airfoil simetris

Airfoil simetris hanya akan menghasilkan gaya angkat bila aliran udara yang melewatinya (*relatif wind*) membentuk sudut tajam dengan tali busur. Sedangkan airfoil yang tidak simetris akan menghasilkan gaya angkat sekalipun arah aliran yang melewatinya sejajar dengan tali busur. Gaya angkat timbul karena adanya perbedaan tekanan udara antara atas dan bawah airfoil. Kecepatan fluida dibawah lebih kecil daripada dibagian atas airfoil., sehingga tekanan bawah lebih besar daripada tekanan atas.

2.4 Gaya Angkat (Lift) dan Gaya Tahan (drag)

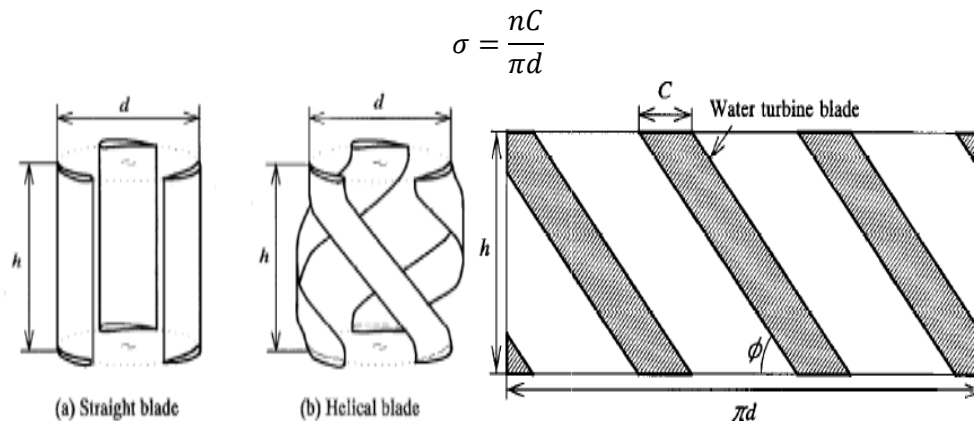
Gaya angkat yang terjadi pada turbin Gorlov sama halnya seperti gaya aerodinamik pada propeler. Propeler adalah alat yang berfungsi menghasilkan gaya dorong untuk menggerakkan pesawat terbang. Sudut serang α pada propeller adalah sudut antara V (kecepatan angin relatif) dengan garis korda (*chord line*). Dengan demikian untuk suatu jenis airfoil tertentu dapat diperoleh gaya aerodinamik jika diketahui V dan α yang bersangkutan yaitu gaya angkat L dan gaya tahan D .^{[1][4]} Komponen kedua gaya tersebut, dalam garis arah C_o , merupakan gaya dorong yang dihasilkan bagian penampang dari daun propeler tersebut.



Gambar 2.5. Vektor pada propeler^[4]

2.5 Solidity (Soliditas)

Solidity didefinisikan sebagai perbandingan luas sudu dengan luas lintasan sudu. Di sini, soliditas σ adalah nilai yang secara signifikan mempengaruhi kinerja turbin air, dan gambar 6 menggunakan variabel panjang korda pisau C , jumlah pisau adalah n dan diameter turbin air d , dan dinyatakan dalam rumus berikut :



Gambar 2.6. Sketsa turbin air helikal^[2]

2.6 CFD (Computational Fluid Dynamics)

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. CFD adalah penghitungan yang mengkhususkan pada fluida. Mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konversi energi, momentum, massa, serta species, penghitungan dengan CFD dapat dilakukan^[4].

2.7 Desain turbin gorlov

Desain penelitian yang digunakan adalah kaji numerik dan eksperimental, untuk kaji numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) *Numea* pada turbin Gorlov 3 blade dengan soliditas 45%. Selanjutnya dilakukan kaji eksperimental pada saluran terbuka. Penelitian ini dilakukan di saluran irigasi induk pucang, kecamatan Bawang, kabupaten Banjarnegara dengan kecepatan aliran 1,1 m/s, kedalaman 65 cm, dan lebar 5m.

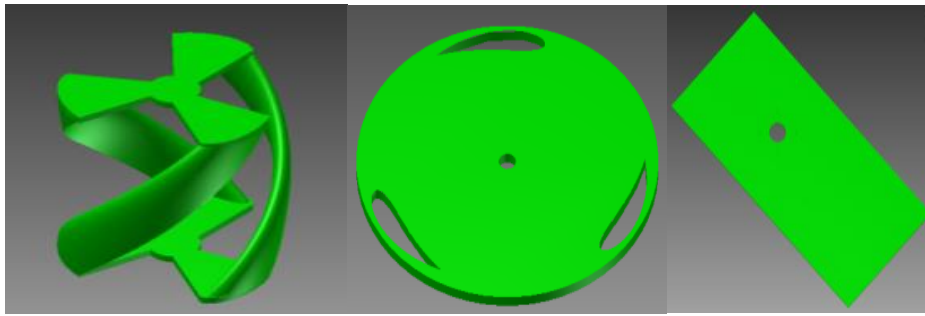
2.8 Alat dan Bahan

a. Alat

1. *Software* MATLAB
2. *Software* Autodesk Inventor 2011 dan *Software* Catia v5r19
3. *Software* CFD (*Computational Fluid Dynamics*) *Numea* 2D
4. Peralatan-peralatan bengkel yang biasa digunakan untuk mengkonstruksi turbin.
5. *Disk Break* dan perlengkapannya.
6. Timbangan Digital
7. Alat pengukur putaran

b. Bahan; Bahan turbin terbuat dari fiberglass, dimensi turbin sebagai berikut;

1. Diameter turbin, d = 0.45 m
2. Tinggi turbin, h = 0,4 m
3. Jumlah sudu, n = 3 buah
4. Panjang chord awal, C = 0.165 m
5. Soliditas, σ = 45% , Sudut inklinasi, $\phi = 60^0$
6. Sudut serang = 0^0

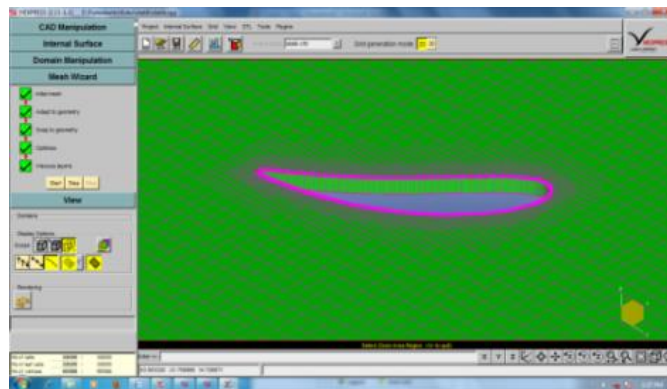


Gambar 2.7 Desain turbin Gorlov helikal 3 *blade* . Model 3D turbin

3 Hasil Dan Pembahasan

3.1 Pembuatan model 3D

Pada kaji numerik atau komputasional yang pertama kali dilakukan adalah pembuatan model 3D, model ini dibuat dengan menggunakan *Software* Autodesk Inventor 2011 dan *software* CATIA. Model untuk kaji komputasional bisa dilihat pada Gambar dibawah ini. Model 3D turbin ketika di simulasikan akan di gabungkan dengan batas aliran air untuk memudahkan proses komputasional.. Proses *meshing* pada CFD NUMECA dilakukan dalam fasilitas *Hexpress*. Proses tersebut dilakukan untuk mendefinisikan jenis bagian dari model 3D yang akan disimulasikan, seperti solid, mirror, dll. Pada fasilitas *hexpress* simulasi dapat dilakukan dalam bentuk 2D atau 3D. Hasil *meshing* yang diproses dengan perangkat lunak *CFD NUMECA (Hexpress)* diperlihatkan pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Hasil *meshing*

3.2. Menganalisis Karakteristik torsi

Simulasi pada perangkat lunak *CFD NUMECA* tersebut, menghasilkan nilai karakteristik torsi pada nilai soliditas 45%. Untuk mendapatkan nilai torsi tersebut dilakukan menggunakan fasilitas *fine* pada *CFD NUMECA*. Pada penelitian kali ini proses simulasi hanya dilakukan pada kondisi 2D. Adapun hal-hal yang perlu dimasukan pada proses simulasi antara lain:

- Ketinggian (tebal) turbin sebesar 10 mm
- Fluid model* menggunakan *water*
- Velocity* atau kecepatan aliran sebesar 1.1 m/s
- Rotating speed* sebesar 46 rpm

Dibawah ini besarnya nilai torsi yang dihasilkan :

$$\begin{aligned} \text{Torque} &= 0,060371 \text{ [Nm]} \\ \text{Rotational speed} &= 4,80245 \text{ [rad/s]} \\ \text{Power} &= 0,289929 \text{ [W]} \end{aligned}$$

3.3. Pengujian model uji turbin air Gorlov

Sebelum dilakukan proses pengujian model uji, penulis melakukan perhitungan kecepatan aliran sungai secara konvensional. Dengan cara memberi tanda jarak dengan menggunakan tali, kemudian melempar gabus, sehingga gabus melewati tanda jarak tersebut. Ketika gabus melewati tanda jarak, stopwatch mulai menghitung waktu dan waktu dihentikan setelah gabus melewati batas jarak yang telah ditentukan. Batas jarak antara tali yaitu 3 m dan gabus yang di lempar sebanyak sepuluh kali, sehingga diperoleh data waktu tempuh gabus dalam menghitung kecepatan aliran sungai sebanyak sepuluh kali. Model uji untuk kaji eksperimental adalah menggunakan pembeban dengan pengereman untuk mendapatkan nilai torsi.



Gambar 3.2 . Model uji kaji eksperimental

Hasil penelitian waktu tempuh sebagaimana ditampilkan tabel 3.1

Tabel 3.1. Waktu tempuh gabus	
Pengujian ke	Waktu tempuh (detik)
1	3,12
2	3,10
3	2,97
4	3,06
5	2,52
6	2,50
7	2,47
8	2,29
9	2,61
10	2,50
Jumlah	27,14
Rata-rata	2,714

Dari data tersebut didapat waktu tempuh rata-rata gabus adalah 2,714 detik. Rumus yang dipakai untuk memperoleh kecepatan air adalah jarak dibagi waktu tempuh rata-rata gabus. Maka diperoleh kecepatan air sebesar 1,105 m/s. Setelah diperoleh kecepatan air baru dilakukan pengujian turbin air Gorlov. Data yang diambil dari pengujian yaitu rpm dengan tachometer tegak lurus terhadap poros turbin yang sudah dipasang. Setelah selesai menghitung rpm penulis menghitung nilai massa (kg) dengan timbangan pegas yang dikaitkan pada plat horizontal, nilai massa tersebut akan digunakan untuk mencari nilai torsi.

Tabel 3.2 Performa turbin Gorlov dengan nilai soliditas 45%

Pengujian Ke	Rpm	Massa (Kg)
1	25	0,41
2	27	0,28
3	25	0,22
4	23	0,27
5	23	0,29
6	22	0,3
7	26	0,22
8	30	0,3
9	27	0,3
10	28	0,28
Rata-rata	25,6	0,287

Dari pengujian didapatkan nilai kecepatan air, putaran turbin dan nilai massa. Sebelum mendapatkan nilai torsi terlebih dahulu menghitung gaya turbin.

Diketahui :
 $W = 0,287 \text{ kg}$
 $g = 9,81 \text{ m/s}$
 $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$
 $n = 25,6 \text{ rpm}$
 $v = 1,105 \text{ m/s}$
 $L = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$

Menghitung gaya turbin

$$\begin{aligned} F &= g \cdot W \\ &= (9,81 \text{ m/s}) \times (0,287 \text{ kg}) \\ &= 2,81547 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung nilai torsi turbin

$$\begin{aligned} T &= F \cdot L \\ &= (2,81547 \text{ N}) \times (0,4 \text{ m}) \\ &= 1,126188 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Mencari kecepatan sudut

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2\pi n}{60} \\ &= \frac{2\pi(25,6 \text{ rpm})}{60} \\ &= 2,69 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Menghitung daya turbin

$$P_t = \omega \cdot T$$

=====

$$\begin{aligned} &= (2,69 \frac{rad}{s}) \times (1,126188 \text{ Nm}) \\ &= 3,0129 \text{ watt} \end{aligned}$$

Menghitung daya air

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= 107,72 \text{ watt} \end{aligned}$$

Mencari nilai TSR

$$\begin{aligned} TSR &= \frac{\omega_r}{v} \\ &= \frac{2,69 \frac{rad}{s} \times 0,225m}{1,105 \text{ m/s}} \\ &= 0,54 \end{aligned}$$

Efisiensi turbin

$$\begin{aligned} \eta_t &= \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{3,0129 \text{ watt}}{107,72 \text{ watt}} \times 100\% \\ &= 2,796 \% \end{aligned}$$

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada analisa dan perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil kaji eksperimental pada turbin Gorlov yang telah dilakukan tentang pengaruh besarnya soliditas 45% terhadap torsi, daya, dan efisiensi maka dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

- Torsi yang dihasilkan pada kaji numerik sebesar 0.060371 Nm dan pada kaji eksperimental sebesar 1.126188 Nm.
- Daya yang dihasilkan pada kaji numerik sebesar 0.289929 Nm dan pada kaji eksperimental sebesar 3.0129 Nm.
- Efisiensi yang hasilkan turbin sebesar 2.796 %, Dibandingkan dengan turbin Gorlov yang direkomendasikan efisiensi yang didapat dari turbin yang diuji masih jauh dibawah yang sebenarnya sebesar 45%.

4.2 Saran

- Dalam pembuatan model uji sebaiknya diperhitungkan aspek kepresisian agar karakteristik turbin Gorlov yang diperoleh optimal. Kaji eksperimental seharusnya dilakukan pada *water tunnel* agar torsi yang diperoleh optimal. Komputasional seharusnya disimulasikan dalam bentuk 3D, dimaksudkan agar hasil kaji eksperimental dapat dibandingkan dengan hasil kaji komputasional.
- Perlu dilakukan penelitian pada turbin dengan dimensi dan jumlah sudu yang berbeda untuk mencari efisiensi turbin yang lebih baik.
- Pengukuran performa turbin sebaiknya dilakukan dengan penggunaan perangkat pengukuran yang lebih akurat. Kajian ini dilakukan dengan merealisasikan benda uji dengan menggunakan teknologi komposit, dan akan diuji di saluran terbuka.

5 Referensi

- [1] Arismunandar, wiranto, 2002, *Pengantar Turbin Gas Dan Motor Propulsi*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.
- [2] Gorlov, A.M. 2002. *Hidroelectric Power Generator*, Department Mechanical, Industrial, And Manufacturing Engineering College Of Engineering. Northeastern University Boston. MA 02115.
- [2] Gorban, N., Gorlov, A.M., Silantyev, A.M, Valentin, M, 2001, *Limits of The Turbine Efficiency for Free Fluid Flow*. Journal of Energy Resources Technology Vol.123: 311-317.
- [4] Shiono M., Kdsuyuki Suzuki dan Sezji Kiho, 2002, *Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generation*,. Department of Electrical Engineering, College of Science & Technology, Nihon University. Tokyo, Japan.