

Rancang Bangun *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP) Berbasis *Basin Silinder*

Mochammad Ilman Nafi'
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia

mochammad.ilman.nafi@gmail.com

Muhammad Hasan Basri
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia

Hasanmohammadbasri83@gmail.com

Hilman Saraviyan Iskawanto
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Nurul Jadid
Probolinggo, Indonesia

hilmaniskawanto@gmail.com

Bachtera Indarto
Program Studi Departemen Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, Indonesia

bachtera61@gmail.com

Alfi Tranggono Agus Salim
Program Studi Teknik Perkeretaapian
Politeknik Negeri Madiun
Kota Madiun, Indonesia

alfitranggono@pnm.ac.id

Abstrak—Rancang Bangun *Gravitation Water Vortex Power Plant* Berbasis Basin Silinder. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ketinggian turbin model L dan turbin model S terhadap debit, torsi, dan rpm yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Pusaran Air serta membandingkan pengaruh ketinggian turbin model L dan turbin model S pada hasil data yang didapatkan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan basin silinder yang memiliki diameter 50 cm sedangkan diameter outletnya 5 cm, menggunakan turbin model L dan turbin model S dan menggunakan variasi ketinggian penempatan turbin pada ketinggian 8cm, 13cm, 18cm, 22cm, dan 28 dihitung dari permukaan dasar basin silinder sampai bagian bawah turbin. Debit yang dihasilkan oleh turbin model S sebesar 0,84 l/s, lebih besar dari pada debit yang dihasilkan oleh turbin model L sebesar 0,69 l/s. Torsi yang dihasilkan oleh turbin model L sebesar 0,00118 Nm lebih besar dari pada torsi yang dihasilkan oleh turbin model S sebesar 0,00088 Nm. Rpm yang dihasilkan oleh turbin model S sebesar 526 rpm, sedangkan turbin model L sebesar 273 rpm, maka dapat diketahui bahwa turbin model L dan turbine model S memiliki kelebihan dan kekurangannya tersendiri.

Kata Kunci: *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP); Turbin; Debit Torsi; Rpm

I. PENDAHULUAN

Energi fosil pada saat sekarang ini semakin menipis akibat penggunaan energi fosil secara berlebihan di semua bidang, hal ini tidak hanya menyebabkan menipisnya energi fosil tapi juga menyebabkan polusi udara, serta efek gas rumah kaca dan menyebabkan pemanasan global. Ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju agar pemanfaatan energi air semakin optimal. Indonesia adalah negara agraris yang menghasilkan air secara terus menerus, sehingga turbin air lebih diutamakan dari turbin angin karena angin di Indonesia relatif stabil. Penggunaan

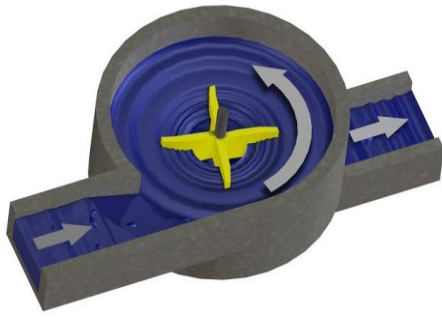
turbin air masih perlu dilakukan studi lebih lanjut. Massa jenis air yang hampir 1000 kali lipat massa jenis udara menyebabkan gaya dan torsi yang mempengaruhi turbin semakin besar [1].

Tenaga air merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk menggantikan pembangkit berbahan bakar fosil. Namun aliran air tidak semuanya memiliki *head* yang tinggi sehingga belum termamfaatkan secara optimal. Hal ini dapat menjadi refrensi untuk memanfaatkan aliran air yang tidak memiliki *head* yang tinggi menjadi sebuah aliran *vortex* (pusaran) untuk menambah energi yang dihasilkan aliran air [2].

Aliran *vortex* yang juga dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada berbagai macam fluida seperti pada air, minyak, udara. Contohnya suatu fluida yang mengalir di dalam pipa yang mengalami perubahan mendadak. Aliran *vortex* dianggap suatu kerugian dalam suatu aliran fluida meskipun sebenarnya ada yang menguntungkan. Belakangan ini prinsip aliran *vortex* sangat banyak digunakan sebagai pembangkit listrik mikro [3].

Sumber energi untuk pembangkit listrik tingkat mikro ini pun melimpah tersedia dialam. Adapun contoh dari sumber energi yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik mikro ini antara lain angin, matahari, panas bumi, dan air. Dimana, semua energi itu sangat melimpah di alam. Salah satu yang sering kita jumpai untuk pembangkit listrik ini biasanya menggunakan tenaga Air (mikrohidro). Dan untuk pembangkit listrik jenis mikrohidro ini contohnya Seperti "*Gravitation Water Vortex Power Plan*". Dimana pembangkit listrik tersebut menggunakan tenaga pusaran air akibat adanya gaya gravitasi untuk memutar turbin yang nantinya dapat menghasilkan sumber pasokan listrik [4].

A. *Gravitation Water Vortex Power Plant* (GWVPP)

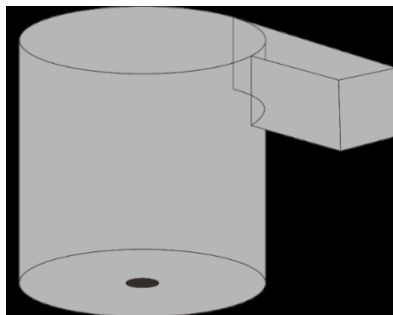


Gambar 1. Gravitational Water Vortex Power Plant [5].

Gravitational Water Vortex Power Plant adalah jenis *green technology* yang termasuk dalam kategori pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Saat ini sedang dikategorikan sebagai tenaga mikrohidro karena pembangkit listrik maksimum yang dilaporkan tidak melebihi 100kW. Keuntungan utama dari pembangkit listrik ini adalah persyaratan *head* air yang sangat rendah serta ramah lingkungan. Di pembangkit ini, air melewati lubang masuk (*Inlet*) yang besar dan lurus, yang kemudian mengalir secara tangensial ke cekungan bundar. Air kemudian akan membentuk pusaran yang kuat, yang keluar dari saluran keluar (*Outlet*) di bagian tengah bawah dari *basin* seperti yang dapat dilihat pada gambar 1. Karena persyaratan *head* air yang sangat rendah, pembangkit tidak bekerja pada perbedaan tekanan tetapi pada kekuatan dinamis yang dihasilkan oleh pusaran. Oleh karena itu, biaya pengembangan dan pembangkit listrik sangat rendah di GWVPP dibandingkan dengan teknologi tenaga air lainnya [5].

B. Basin Silinder

Wadah (*basin*) atau tempat penampung air yang nantinya akan terjadi pembentukan *vortex* ini. Tes eksperimental telah dilakukan untuk membandingkan kinerja sistem basin berbentuk kerucut dengan sistem basin silinder. Karena peningkatan nilai *velocity head* dengan peningkatan kedalaman dan kekuatan *vortex* yang lebih besar, efisiensi turbin lebih besar di basin berbentuk kerucut dibandingkan dengan silinder [6].



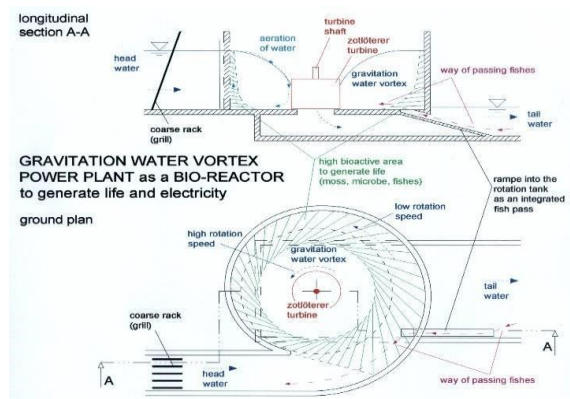
Gambar 2. Basin Silinder

C. Aliran Vortex

Aliran *Vortex* adalah aliran air yang bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. *Vortex* sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh didalamnya [1].

D. Turbine Vortex (Pusaran)

Turbin ini dinamakan sebagai *Gravitation Water Vortex Power plant* (GWVPP) oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Austria, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin *vortex* atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (*head*) yang diperlukan untuk turbin ini 0,7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik. Turbin ini sederhana, mudah dalam perawatannya, kecil, kuat, dan bertahan hingga 50 – 100 tahun [7].



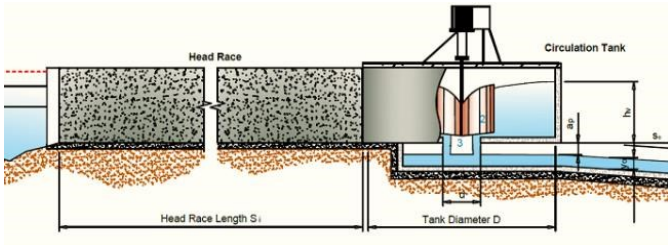
Gambar 3. Skema Turbin Vortex [7]

E. Cara Kerja Turbin Vortex

Sistem Turbin *Vortex* adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusaran air yang besar yang dibuat dengan menciptakan melalui Perbedaan *head* rendah di sungai [8]. Cara kerjanya:

1. Air Sungai dari tepi sungai disalurkan dan diarahkan ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran *vortex*.

3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energi kinetik rotasi di inti vortex yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali ke sungai melalui saluran keluar.



Gambar 4. Instalasi Turbin Vortex Pada Sungai [8].

F. Pengukuran Debit

Debit merupakan pengertian volume air yang mengalir dalam satuan waktu tertentu. Pengertian lain debit adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu [9]. Debit dapat dihitung dengan Persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

Dimana :

Q = Debit (m³/s)

V = Volume Wadah (m³)

T = Waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi wadah (s)

G. Pengukuran Torsi

Torsi dihasilkan ketika gaya diterapkan untuk menghasilkan rotasi, seperti, misalnya, ketika kunci pas digunakan untuk memutar baut atau palu cakar digunakan untuk menarik paku dari kayu. Torsi adalah kecenderungan untuk menghasilkan perubahan dalam gerakan rotasi [10]. Torsi diukur dengan menggunakan mekanisme *rope brake* seperti pada Gambar berikut [11].

$$T = F \cdot r \quad (2.2)$$

Dimana :

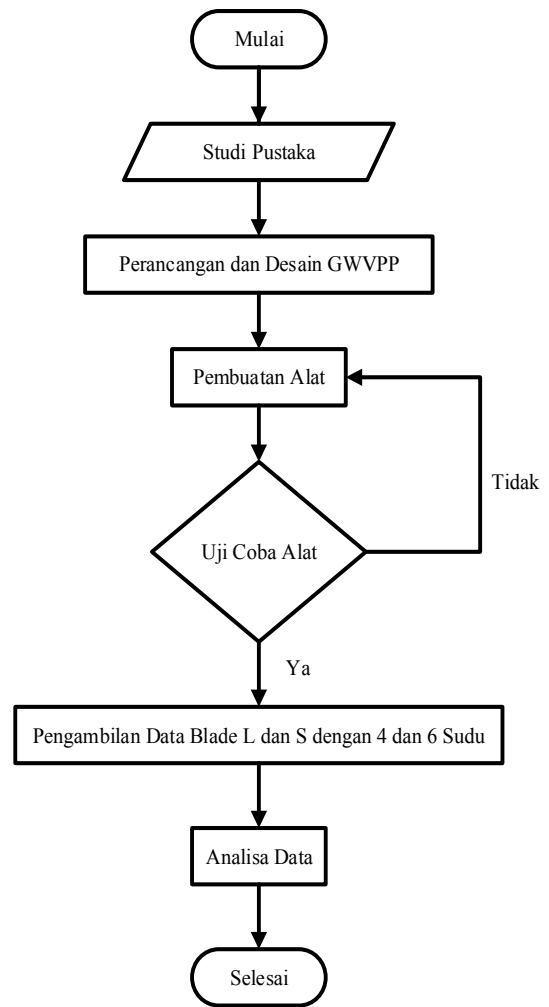
T = Torsi (Nm)

F = beban yang diberikan pada poros (N) = F₂ – F₁

r = Jari-jari poros (m)

II. METODOLOGI

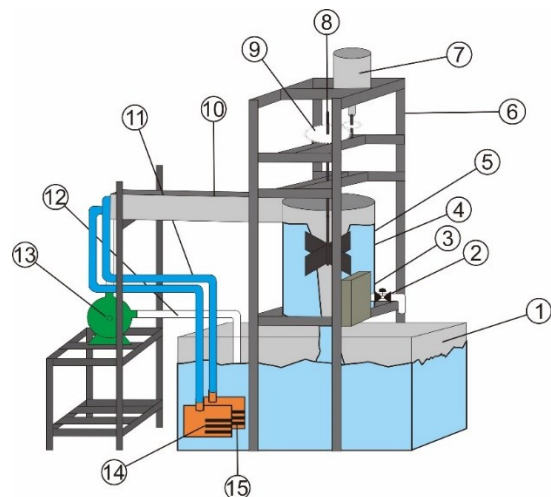
Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Metode Penelitian

A. Perancangan *Gravitation Water Vortex Power Plant*

Pada perancangan alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* ada beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yang meliputi :



Gambar 6. Perancangan *Gravitation Water Vortex Power Plant*

Tabel 1. Komponen-komponen *Gravitation Water Vortex Power Plant*

No.	Keterangan	
1.	Bak Penampungan Air	9. Gear (menggunakan akrilik)
2.	Kontrol Valve Air.	10. Saluran Air
3.	Panel Kontrol Valve.	11. Slang Air diameter 1 Inchi
4.	Basin (Rumah Vortex).	12. Pipa Air
5.	Turbine.	13. Pompa 1
6.	Krangka Alat (Besi Siku).	14. Pompa 2
7.	Generator.	15. Pompa 3
8.	Poros Turbine.	

B. Alat Dan Bahan

Pada penelitian ini alat-alat dan bahan yang akan digunakan untuk membuat dan mengambil data dari alat *Gravitation Water Vortex Power Plant* adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Alat dan Bahan

No.	Keterangan	
1.	Kikir	10. Bak Penampungan
2.	Mesin Bor Tangan	11. <i>Tachometer</i>
3.	Mesin Las Listrik	12. Neraca Pegas
4.	Gerinda Tangan	13. Mistar Ukur
5.	Kunci Pas	14. Stopwath
6.	Mesin Pompa Air	15. Besi Siku Berlubang
7.	Selang Air	16. Besi Ulir
8.	Pipa PVC	17. Turbin L
9.	Bearing Horizontal	18. Turbin S

C. Proses Pengujian Alat

Pengujian alat ini dilakukan dalam tiga tahap untuk memastikan semua komponen bekerja dengan benar.

1. Tahap pertama melakukan perakitan semua alat dan memastikan semua alat bisa bekerja dengan benar.
2. Tahap kedua melakukan pengujian saluran untuk mengetahui ada atau tidaknya kebocoran pada saluran.
3. Tahap ketiga mengatur debit aliran masuk dan debit keluar sehingga adanya kesesuaian antara debit masuk bak penampungan sementara dan pipa penampang saluran keluar.

D. Proses Pengambilan Data

Proses pengambilan data mengikuti tahapan seperti dibawah ini:

1. Penelitian diawali dengan perakitan semua komponen kemudian memposisikan saluran tepat berada pada bak penampungan.
2. Memposisikan pompa air ke bak penampung, memastikan bahwa lubang buang yang dipakai sudah benar.
3. Memasang sudu dengan variasi jumlah sudu 3 buah.
4. Hidupkan pompa kemudian pastikan aliran air menuju ke saluran.
5. Mempertahankan tinggi level air.
6. Mengukur putaran poros dengan *tachometer*, kemudian mengukur torsi yang terjadi pada poros turbin dengan t.
7. Menghitung debit dengan menampung air dari keluaran vortex basin.

8. Memvariasikan jarak turbin dengan *outlet* buang, sebesar 8cm, 13cm, 18cm, 22cm, dan 28.
9. Ulangi langkah 3 dengan memvariasikan jumlah sudu sebesar 3 buah, 4 buah, dan 6 buah.

III. HASIL DAN ANALISA

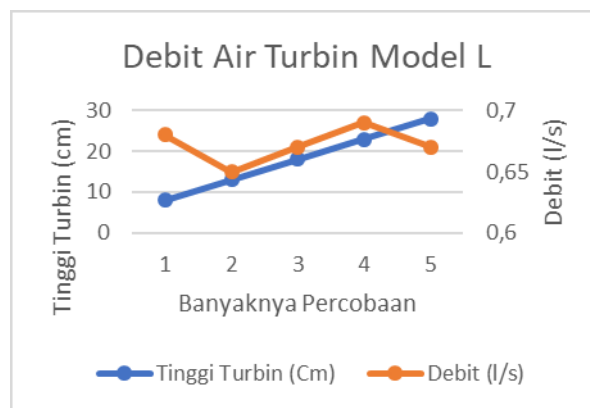
A. Pengaruh Ketinggian Turbin Model L Terhadap Debit

Pengukuran debit dilakukan dengan cara pertama yaitu menghitung jumlah volume pada basin silinder dengan cara menggunakan rumus persamaan 2.1. Pengitungan debit air dengan cara volume dibagi waktu sampai air pada basin silinder tersebut stabil sehingga akan didapat nilai debit air. Percobaan ini dilakukan dengan lima kali percobaan dengan ketinggian 8cm, 13cm, 18cm, 22cm, dan 28.

Tabel 3. Hasil penghitungan debit

No.	Tinggi Turbin (cm)	Debit (l/s)
1.	8	0,68
2.	13	0,65
3.	18	0,67
4.	23	0,69
5.	28	0,67

Debit yang dihasilkan untuk masing-masing variasi ketinggian turbin model L dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 7.

**Gambar 7.** Grafik Pengaruh Ketinggian Turbin Model L Terhadap Debit

Jadi pengaruh ketinggian turbin terhadap debit yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan, karena aliran air yang masuk ke tabung basin silinder tidak konstan, maka waktu yang dihasilkan tidak stabil sehingga mempengaruhi hasil dari debit air.

B. Pengaruh Ketinggian Turbin Model L Terhadap Torsi

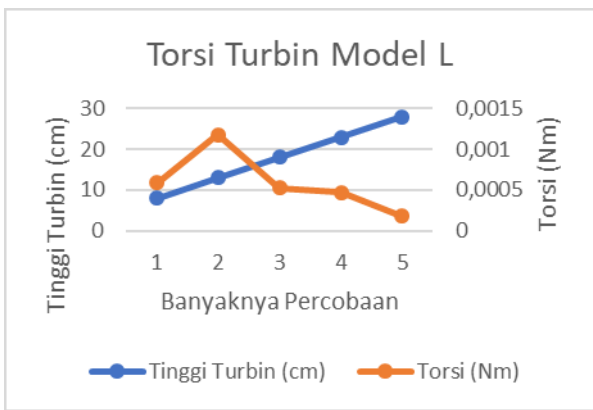
Torsi didapatkan menggunakan pegas yang diikat dengan tali pada poros turbin yang berputar akibat pusaran air untuk melakukan pengereman. Pegas disambungkan dengan tali yang terhubung dengan pegas sehingga pegas akan memanjang sekaligus melakukan pengereman pada putaran

poros turbin. Perubahan panjang pegas yang diperoleh dari nilai panjang pegas ketika melakukan pengereman pada poros turbin yang dikurangi dengan panjang awal pegas sebesar 4 cm, dengan kata lain merupakan hasil dari kondisi awal dan akhir dari pegas itu sendiri. Jari-jari dari poros turbin memiliki ukuran 6 mm.

Tabel 4. Hasil penghitungan torsi

No.	Tinggi Turbin (cm)	Torsi (Nm)
1.	8	0,00059
2.	13	0,00118
3.	18	0,00053
4.	23	0,00047
5.	28	0,00018

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi ketinggian turbin dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Pengaruh Ketinggian Turbin Model L Terhadap Torsi

Jadi pengaruh ketinggian turbin terhadap torsi yang dihasilkan mengalami kenaikan ketika turbin berada di ketinggian 13 cm karena pusaran air menghantam sudu turbin sehingga putaran yang terjadi pada torsi semakin tinggi, dan terjadi penurunan ketika ketinggian turbin dinaikkan ke atas sehingga pusaran air yang menghantam sudu turbin berkurang dan tidak bisa dimanfaatkan dengan baik.

C. Pengaruh Ketinggian Turbin Model S Terhadap Debit

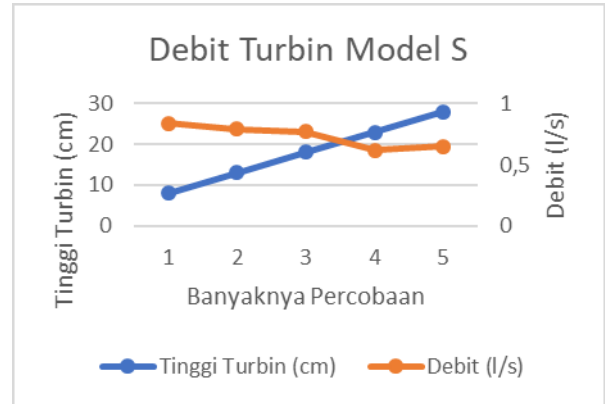
Pengukuran debit dilakukan dengan cara pertama yaitu menghitung jumlah volume pada basin silinder dengan cara menggunakan rumus persamaan 2.1. penghitungan debit air dengan cara volume dibagi waktu sampai air pada basin silinder tersebut stabil sehingga akan didapat nilai debit air. Percobaan ini dilakukan dengan lima kali percobaan dengan ketinggian 8cm, 13cm, 18cm, 22cm, dan 28.

Tabel 5. Hasil penghitungan debit

No.	Tinggi Turbin (cm)	Debit (l/s)
1.	8	0,84

2.	13	0,79
3.	18	0,77
4.	23	0,62
5.	28	0,65

Debit yang dihasilkan untuk masing-masing variasi ketinggian turbin model S dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Pengaruh Ketinggian Turbin Model S Terhadap Debit

Jadi pengaruh ketinggian turbin terhadap debit yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan naiknya ketinggian turbin karena semakin tinggi turbin akan semakin cepat air akan naik hal ini menyebabkan hasil debit air menjadi semakin turun.

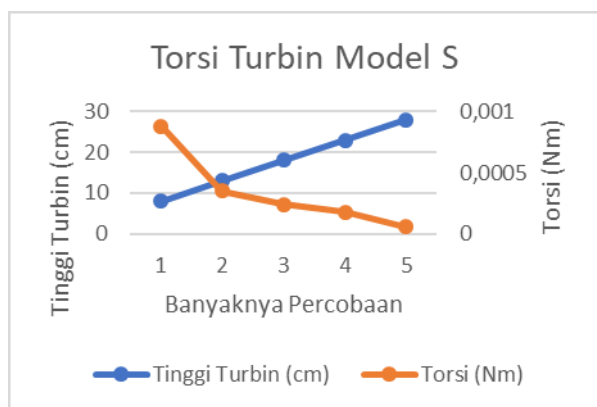
D. Pengaruh Ketinggian Turbin Model S Terhadap Torsi

Torsi didapatkan menggunakan pegas yang diikat dengan tali pada poros turbin yang berputar akibat pusaran air untuk melakukan pengereman. Pegas disambungkan dengan tali yang terhubung dengan pegas sehingga pegas akan memanjang sekaligus melakukan pengereman pada putaran poros turbin. Perubahan panjang pegas yang diperoleh dari nilai panjang pegas ketika melakukan pengereman pada poros turbin yang dikurangi dengan panjang awal pegas sebesar 4cm, dengan kata lain merupakan hasil dari kondisi awal dan akhir dari pegas itu sendiri. Jari-jari dari poros turbin memiliki ukuran 6 mm.

Tabel 6. Hasil penghitungan torsi

NO	Tinggi Turbin (cm)	Torsi (Nm)
1.	8	0,00088
2.	13	0,00035
3.	18	0,00024
4.	23	0,00018
5.	28	0,00006

Besarnya torsi turbin untuk masing-masing variasi ketinggian turbin dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Ketinggian Turbin Model S Terhadap Torsi

Jadi pengaruh ketinggian turbin terhadap torsi yang dihasilkan mengalami penurunan seiring naiknya ketinggian turbin karena pusaran air tidak dapat dimanfaatkan dengan baik.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran RPM dengan alat *Tachometer*. Nilai kecepatan rotasi turbin dapat dilihat pada table 5 dengan menggunakan variasi ketinggian turbin terhadap permukaan basin sebesar 8 cm, 13 cm, 18 cm 23 cm dan 28 cm.

Tabel 7. Hasil analisa data turbin L dan S

No.	Tinggi Turbin	Turbin L		
		Debit (l/s)	Rpm	Torsi (Nm)
1.	8 cm	0,68	273	0,00059
2.	13 cm	0,65	252	0,00118
3.	18 cm	0,67	244	0,00053
4.	23 cm	0,69	238	0,00047
5.	28 cm	0,67	222	0,00018
No.	Tinggi Turbin	Turbin S		
		Debit (l/s)	Rpm	Torsi (Nm)
1.	8 cm	0,84	526	0,00088
2.	13 cm	0,79	499	0,00035
3.	18 cm	0,77	346	0,00024
4.	23 cm	0,62	260	0,00018
5.	28 cm	0,65	256	0,00006

Rpm bertolak belakang dengan torsi yang dihasilkan, semakin besar torsi yang dihasilkan maka semakin kecil rpm yang dihasilkan. Seperti yang dapat kita lihat pada tabel 7 bahwa rpm tertinggi dihasilkan oleh turbin model S dikarenakan torsi yang dihasilkan turbin ini lebih rendah dari pada turbin model L, sehingga rpm yang dihasilkan turbin model S lebih besar dari turbin model L.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada rancangan bangun Pembangkit Listrik Tenaga Gravitasi Pusaran Air atau *Gravitation Water Vortex Power Plant* dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Debit yang dihasilkan oleh turbin model S sebesar 0,84 ℓ /s, lebih besar dari pada debit yang dihasilkan oleh turbin model L sebesar 0,69 ℓ /s karena torsi dari turbin model S lebih rendah dari pada turbin model L yang dapat menghasilkan torsi lebih besar.
2. Torsi yang dihasilkan oleh turbin model L sebesar 0,00118 Nm lebih besar dari pada torsi yang duhasilkan oleh turbin model S sebesar 0,00088 Nm karena perbedaan model turbine inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan torsi di antara kedua turbin.
3. Rpm yang dihasilkan oleh turbin model S sebesar 526 rpm, sedangkan turbin model L sebesar 273 rpm, maka dapat diketahui bahwa hasil dari perbedaan turbin model S dan L adalah lebih besar putaran yang dihasilkan dengan menggunakan turbin model S dari pada turbin model L.

UCAPAN TERIMAKASIH

Saya sampaikan ucapan terima kasih kepada editor dan reviewer atas segala saran, masukan dan telah membantu dalam proses penerbitan naskah. Ucapan terima kasih juga ditunjukkan kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian dan memberikan bantuan moral dan material.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gibran, S. Gultom, Z. Lubis, and P. G. Sembiring, "Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 Cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar," *J. Din.*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [2] I. F. Tanjung *et al.*, "Analisa Performansi Turbin Vortex Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu Iii, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang," *J. Din.*, vol. 3, no. 4, 2019.
- [3] F. Sumantri and M. Fitri, "Perancangan alat uji vortex bebas dan vortex paksa," vol. 8, no. 2, 2017.
- [4] H. D. Fathoni, M. S. Drs. Bachtera Indarto, and M. S. Im Fatimah, S.Si., *PENGARUH PERBEDAAN VARIASI JUMLAH BLADE TURBIN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PUSARAN GRAVITASI AIR (GWVPP) BERBASIS BASIN KERUCUT*. Surabaya: Departemen Fisika Fakultas Sains Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [5] E. M. Wardhana, A. Santoso, and A. R. Ramdani, "Analysis of Gottingen 428 Airfoil Turbine Propeller Design with Computational Fluid Dynamics Method on Gravitational Water Vortex Power Plant," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 3, no. 3, 2019.
- [6] S. Dhakal, A. B. Timilsina, R. Dhakal, D. Fuyal, and T. R. Bajracharya, "Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner : Gravitational water vortex power plant \$," vol. 48, 2015.
- [7] F. Zotloterer, "Zotloterer Gravitational Vortex Plant," 2002.
- [8] S. Tobing *et al.*, "Analisa Rumah Vortex Berbentuk Lingkaran Dengan Variasi Diameter Lubang Buang Menggunakan Perangkat Lunak Cfd," *J. Din.*, vol. 4, no. 4, 2019.
- [9] V. Dwiyanto, *ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO*

- [10] *HIDRO (PLTMH) STUDI KASUS: SUNGAI AIR ANAK (HULU SUNGAI WAY BESAI)*. FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG, 2016.
- [11] J. Sinaga and H. I. Lubis, "PENGUJIAN UNJUK KERJA TURBIN CROSSFLOW SKALA LABORATORIUM DENGAN JUMLAH SUDU 28," 2015.
- [10] D. EWEN, N. SCHURTER, and P. E. GUNDERSEN, *APPLIED PHYSICS 10th Edition*, 10th Editi. Amerika Serikat: Prentice Hall, 2012.

“ Halaman Ini Sengaja Dikosongkan ”