

Pembuatan Turbin *Double Spherical* Sebagai Upaya Memperbaiki Kinerja Turbin *Spherical*

Yusuf Dewantoro, Denny Surendra, Yanuar M

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199/SMS, Semarang 50329

Telp. 7473417, 7466420 (Hunting), fax. 7472396

Abstrak

Tujuan dari tugas akhir ini adalah pembuatan turbin *spherical helix* berbasis NACA 0016 dengan sudut putar sebesar 30° dengan penambahan jumlah runner, memperbaiki kerangka uji, melakukan uji kinerja turbin air yang telah dibuat, menghitung kinerja turbin dengan runner single dan double dan melakukan analisa kinerja turbin. Selanjutnya akan melakukan pengujian dan melihat hasil kinerja efisiensi yang dihasilkan. Pengujian turbin air ini menggunakan variable turbin *spherical* dan turbin *double spherical* dengan variable uji berupa kecepatan aliran 1,2 m/s, dan 1,4 m/s. Sedangkan parameter uji berupa putaran poros turbin, massa torsi, dan head. Data-data hasil pengujian selanjutnya diolah untuk mengetahui daya mekanik dan efisiensi turbin maksimum. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi yang mampu dihasilkan turbin *spherical helix* yaitu sebesar 20,9% pada variabel uji pada kecepatan aliran kerja 1,2 m/s dengan putaran turbin 155 rpm, dan 21,21% pada variabel uji pada kecepatan aliran kerja 1,4 m/s dengan putaran turbin 150 rpm. Sedangkan pada turbin *double spherical helix* mampu menghasilkan efisiensi yaitu sebesar 27,4% pada variabel uji pada kecepatan aliran kerja 1,2 m/s dengan putaran turbin 160 rpm, dan 33,02% pada variabel uji pada kecepatan aliran kerja 1,4 m/s dengan putaran turbin 170 rpm.

Kata kunci : Turbin air, *Spherical*, *Helix Sudut 30°* , Berbasis NACA 0016

1. Pendahuluan

Tenaga air merupakan sumber daya terpenting setelah uap atau panas. Hampir sebagian dari kebutuhan tenaga listrik di dunia dipenuhi oleh pusat-pusat pembangkit listrik tenaga air. Teknologi ini terdiri dari komponen utama yaitu turbin air dan generator listrik. Turbin air berperan untuk mengubah energi air (energi potensial, tekanan dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Pemanfaatan air digunakan untuk menghasilkan energi ramah lingkungan dan terbarukan serta dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Pemanfaatan air sungai sebagai energi alternatif sering kali tidak teraplikasi secara maksimal, hal ini dikarenakan pengetahuan masyarakat dan prasarana yang kurang. Sebagai contoh pemanfaatan sungai irigasi, selain sebagai pengairan sawah, potensi alirannya juga bisa dimanfaatkan pada energi kinetiknya. Turbin yang cocok untuk memanfaatkan potensi air sungai atau air laut dikenal dengan turbin air aliran silang atau *Cross Flow Water Turbine*

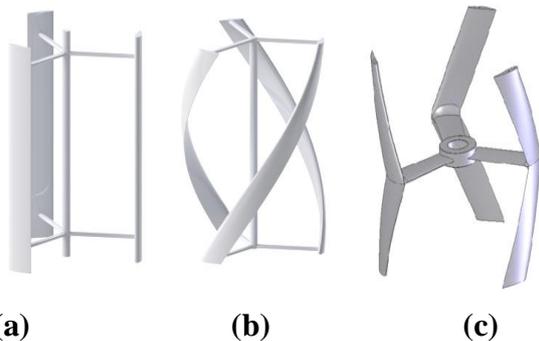
(CFWT). Beberapa turbin air yang sudah kita kenal antara lain Turbin Darrieus, Turbin Gorlov, Turbin Achard dan Maitre dan Turbin Zanette. Turbin-turbin tersebut

memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing untuk perairan di Indonesia. Model CFWT yang ada salah satunya adalah turbin Darrieus berbentuk sudu hydrofoil, poros vertikal dan jumlah sudu 3. Hasil pengembangan turbin Darrieus salah satunya adalah turbin *Spherical*. Turbin *Spherical* yang dibuat memiliki rasio panjang *line chord* dan diameter *runner* turbin 0.5. Hasil uji menunjukkan turbin *Spherical* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan turbin Darrieus. Melalui Tugas akhir ini akan dilakukan perubahan dari jumlah runner satu buah menjadi dua buah (*parallel*) dalam satu poros turbin untuk mendapat kinerja yang lebih baik dari turbin *Spherical*.

Turbin Aliran Silang

Turbin air aliran silang atau *Cross Flow Water Turbine* (CFWT), memiliki sumbu rotasi tegak lurus terhadap arus. Jenis turbin

ini memiliki beberapa keuntungan turbin beroperasi dalam segala arah aliran, namun desain dan prediksi perilaku hidro dinamikanya lebih rumit (Paraschivioiu I, 2002).



Gambar 1.1 Tiga Model CFWT dari skala yang berbeda (a) Darrieus,1931; (b) Gorlov, 1997 ; (c) Archard dan Maitre, 2004

Turbin aliran silang *Cross Flow Water Turbine* (CFWT) dikembangkan dari turbin Darrieus (1931) yang memanfaatkan energi angin sebagai fluida kerja. Desain Darrieus dapat dilihat pada Gambar 2.1a. sudu turbin Darrieus berjumlah 3 dan berpenampang *airfoil* yang dipasang tegak sejajar dengan poros turbin Darrieus. Desain Turbin Darrieus dikembangkan untuk fluida air oleh Gorlov o(1997). Perbedaan turbin Gorlov terletak pada arah posisi sudu. Jika sudu Darrieus memiliki arah posisi vertikal, pada turbin Gorlov memiliki arah posisi helik. Turbin – turbin tersebut kemudian dikembangkan dalam bentuk yang berbeda oleh Archard dan Maitre (2004), seperti pada gambar 2.1c sudut turbin Archard Maitre berbentuk delta dengan luas penampang tetap/konstan.

Pengembangan Turbin Darrieus

Aliran air irigasi untuk pengairan pada sektor pertanian mempunyai energi kinetik yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air. Jenis turbin aliran

sungai yang cocok dipakai adalah turbin air Gorlov dan Darrieus. Turbin Darrieus mempunyai keuntungan yaitu sudunya dapat dibuat dengan mudah (Winchester et al, 2009). Sudu ini memakai standard National Advisory Committee for Aeronautics (NACA) agar aliran disekitarnya tidak terjadi turbulensi apabila sudut masuk tidak besar.

Kedua turbin diatas telah mulai dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik baik skala kecil maupun besar. Bila aliran sungai yang deras dan dengan debit yang besar maka akan dapat menghasilkan daya yang besar pula. Turbin Darrieus dan Gorlov mempunyai efisiensi yang rendah dibandingkan dengan turbin lainnya seperti jenis Pelton dan Francis yang penggunaannya untuk head yang tinggi. Ukuran dimensi turbin dapat diperbesar atau dengan memasang turbin yang banyak untuk mendapatkan daya listrik yang besar.

Gorlov (2001) mengemukakan bahwa pemanfaatan energi aliran sungai untuk pembangkitan energi listrik adalah salah satu usaha untuk mempercepat peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan. Pengembangan yang terus menerus, yang efisien, cenderung murah dan ramah lingkungan. Pada aliran head rendah (*low head*) dimanfaatkan turbin melengkung (*helical*) bersudu tiga yang dapat juga didayagunakan pada arus pasang surut. Turbin tersebut dapat membangkitkan multi megawatt dan dapat membangkitkan dalam skala beberapa kilowatt. Turbin Darrieus dan Gorlov mempunyai prinsip yang sama, akan tetapi turbin Darrieus mempunyai bentuk sudu lurus sedang Gorlov sudunya dalam bentuk heliks yang sulit dibuat.

Shiono et.al (2002) telah mempelajari secara eksperimental pengaruh soliditas, kecepatan air dan terhadap kinerja turbin air Darrieus yang mempunyai tiga sudu dengan jenis sudu lurus dan heliks. Soliditas sangat kecil pengaruhnya terhadap kinerja turbin tetapi semakin besar soliditas maka turbin akan semakin turun putarannya atau sebaliknya. Untuk kecepatan air yang berbeda maka akan semakin berubahkinerjanya yang

mana apabila kecepatan air semakin tinggi maka semakin besarefisiensinya. Selain itu juga kemiringan (bentuk heliks) sudu atau sudu turbin Gorlovpada sudut heliks $43,7^\circ$ mempunyai efisiensi yang paling tinggi dibanding dengansudut heliks lainnya yang mana efisiensi tertingginya adalah sekitar 15%.

Kyozuka et al. (2006) memberikan pengaruh jumlah sudu dan jenis sudu taksimeris yang digunakan untuk mempelajari kenerjanya. Dari hasil studi eksperimentantersebut menunjukkan bahwa jumlah sudu tiga buah mempunyai sudu efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu dua buah. Selain itu dengan bentukcamber lingkaran memperbesar efisiensinya.

Antheaume, et.al (2007). Mengemukakan bahwa berdasarkan simulasi dan eksperimen diperoleh efisiensi maksimum untuk turbin Darrieus 23%, turbin Gorlov35% dan turbin Archad sebesar 39,4%. Hal ini merupakan inovasi baru dalam pengembangan turbin air poros vertikal dengan model *helical blade*.

Golechal et al.(2011) menggunakan prinsip pengarah aliran yang berupa pemantulan (*deflector plate*) untukmenaikkan efisiensi dari turbin air Savonius menjadi 35% pada *tip speed ratio* 1,08.

Consul et al. (2009) memberikan secara numerik tentang pengaruh kepadatan(*solidity*)danjumlah sudu terhadap turbin *cross-flow* yang mempunyai dua atau empat sudu melaluisimulasi dengan angka Reynolds aliran yang tinggi. Turbin dengan soliditas yangrendah terjadi *stall* aliran dan dengan menaikkan jumlah sudu maka koefisien dayanaik dari 0,43 ke 0,53. Lain et al. (2010) menggunakan *Commercial Solver (fluent)* untuk mengetahui kinerja turbin air Darrieus. Hasil menunjukkan bahwa koefisien dayamaksimum adalah 0,33 pada perbandingan kecepatan (*speed ratio*)1,6 dan solititas 0,89.

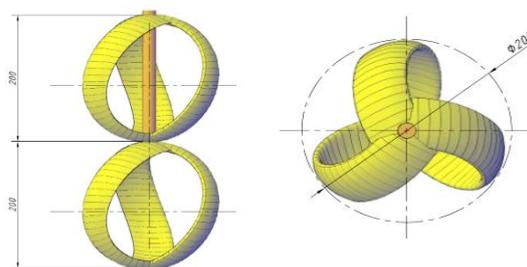
Kirke et al. (2008)menunjukkan bahwa sudut sudu yang dapat diatur posisinya menghasilkan torsi awalyang tinggi dan mempunyai efisiensi yang tinggi pula

sedangkan shaking force masih dalam batas yang ditolerani.

Ketebalan sudu simetris yang dipakai pada turbin Darrieus secara teoritis oleh Winchester et al. (2009) yang memberikan bahwa semakin turun ketebalan sudu maka semakin menurun efisiensi turbin yang mana penurunan ini kecil. Hal ini juga telah dipelajari secara eksperimental oleh Kaprawi (2011) untuk ketebabalan sudu 15 s.d 30% dari chord dari airfoil yang mana efisiensi semakin kecil untuk tebal semakin rendah. Efisiensi tertinggi yang dicapai adalah untuk sudu NACA 0015 yaitu 11,5%. Untuk sudu yang tidak simetris (*cambered airfoil*) dari kedua penulis diatas menunjukkan efisiensi yang lebih kecil yaitu sekitar 7%.(Kaprawi,2012).

Turbin Double Spherical

Turbin Double spherical adalah salah satu bentuk model turbin *Cross Flow Water Turbine* (CFWT) hasil dari pengembangan Turbin Darrieus dengan runner berbentuk bola (*Spherical*) yang kemudian diparalel sehingga menjadi *Double Spherical*. Turbin *Double Spherical* terdiri dari dua buah turbin *shperical* yang disusun parallel. Masing-masing turbin memiliki ukuran yang sama, yaitu 3 sudu dengan penampang *hydrofoil* yang dipasang tegak sejajar dengan poros turbin. Berikut gambar dari turbin Double Spherical.



Gambar 1.2 Model turbin double spherical

(Sumber: Aldi dkk, 2018)

2. Metode Penelitian

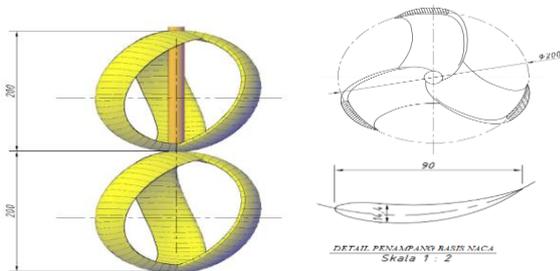
Perancangan turbin *Spherical* terdiri dari perancangan bentuk runner, bilah sudu, pemegang turbin dan ukuran poros, dengan

menggunakan parameter bentuk turbin *Sphericalhydrofoil* NACA 0016 yang sudah ada dengan bentuk *Sphericalhelix* NACA 0016 dengan sudut putar 30° dengan *double runner* Proses pembuatan turbin *Spherical* menggunakan bahan *fiberglass* dengan diameter turbin 25 cm panjang *line chord* dan jarak antar sudu membentuk sudut 120° . Model turbin *Spherical* menggunakan basis NACA 0016. Untuk pembuatan diperlukan bahan gerinda untuk memotong membentuk sudu turbin, kikir, amplas untuk melakukan finishing yang selanjutnya dilakukan pengecatan.

a. Tahap Perancangan Turbin Dimensi Turbin

Dimensi turbin *double spherical* terdiri dari dua buah turbin *spherical* dengan panjang *line chord* 90 mm dan berdiameter 250 mm, dimensi tersebut sudah disesuaikan dengan alat uji kinerja turbin laboratorium teknik konversi energi.

Perancangan dimensi Turbin *double spherical* yaitu dua buah turbin *spherical* dengan sudut 30° menggunakan basis NACA 0016.



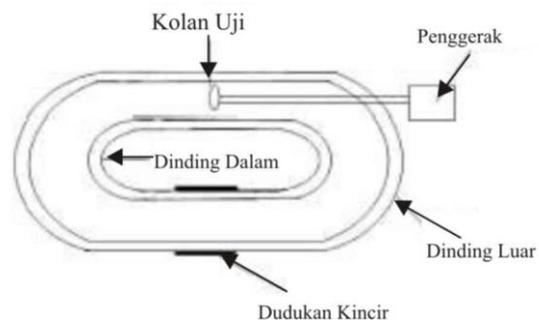
Gambar 2.1 Turbin Double Spherical dengan sudut putar 30°

b. Pemilihan Material Turbin

Bahan yang digunakan untuk pembuatan model turbin *Spherical* memiliki kriteria antara lain yaitu ringan, memiliki kesamaan ukuran dan bentuk di tiap sudunya sehingga lebih baik jika proses pembuatan menggunakan sistem cetak, tahan korosi, kuat, tidak meresap air. Berdasarkan kriteria tersebut maka dipilih bahan *fiberglass* dikarenakan memenuhi kriteria yang ada dibandingkan dengan bahan lainnya.

c. Tahap Perancangan Alat Penunjang Saluran Uji

Saluran Uji adalah sebuah model saluran air yang digunakan atau yang difungsikan sebagai media uji potensi air untuk menguji *performance* atau kinerja dari turbin air. Saluran Uji di laboratorium teknik konversi energi berbentuk elips dengan spesifikasi antara lain: lebar saluran (l) = 40 cm; Kedalaman saluran (z) = 60 cm.



Gambar 2.2 Saluran Uji

3. Hasil dan Pembahasan

Rancangan turbin *Spherical* dan *double spherical* yang telah dibuat dengan sudut putar 30° berbasis NACA 0016 dapat dilihat pada gambar 4.1 kedua turbin memiliki diameter yang sama yaitu 25 cm. Dan memiliki panjang *line chord* 9 cm dengan sudut putar yang sama yaitu 30°

a. Data Hasil Pengujian Turbin

Pengujian turbin *Spherical* dan *double spherical* menggunakan 2 turbin dengan sudut putar yang sama, yaitu 30° baik pada turbin *spherical* (T1) dan *Double spherical* (T2).

Parameter pengukuran meliputi putaran turbin (n), gaya yang dihasilkan dari pembebanan pada turbin (m), ketinggian air sebelum melewati turbin (y_1), ketinggian air setelah melewati turbin (y_2), tinggi tekan air sebelum turbin (Δh_1), tinggi tekan air setelah turbin (Δh_2), dan selisih antara Δh_1 dan Δh_2 yaitu ($\Delta h_1 - \Delta h_2$).

Data hasil pengujian digunakan untuk menghitung Torsi (T), Head Total (H_T), Debit aliran (Q), Daya Hidrolik (P_h), Daya Mekanik (P_m), dan Efisiensi total (η_t).

Perhitungan dapat dilihat dibawah ini :

Putaran Turbin (n) = 183 rpm

Massa beban (m) = 0,025 kg

Head masuk turbin (Δh_1)= 0,0373 m

Head keluar turbin (Δh_2)=0,056 m

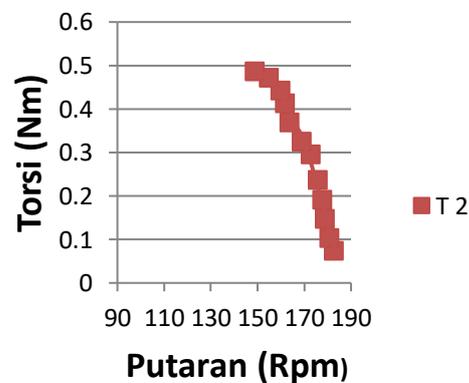
Selisih head (Δh) = 0,0187 m

Percepatan Gravitasi (g)= 9,806 m/s²

Data Hasil Pengujian

Turbin Double Spherical, VS kecepatan aliran = 1,2 m/s						
beban	T (Nm)	HT(m)	Q (m ^{3/s})	PM (Watt)	PH (Watt)	η_T (%)
0	0	0,07	0,043488	0	29,851239	0
1	0,073545	0,0613	0,059469	1,4086809	35,747494	3,940643
2	0,102963	0,0507	0,07444	1,9505997	37,008892	5,270624
3	0,14709	0,0533	0,07106	2,7557802	37,14045	7,419889
4	0,191217	0,0556	0,067931	3,5625002	37,036848	9,6188
5	0,235344	0,0523	0,072379	4,3353503	37,119823	11,67934
6	0,29418	0,0617	0,05883	5,3268153	35,593855	14,96555
7	0,323598	0,0633	0,056199	5,7240172	34,883999	16,40872
8	0,367725	0,0633	0,056199	6,3121222	34,883999	18,09461
9	0,411852	0,0633	0,056199	6,9833625	34,883999	20,01881
10	0,44127	0,07	0,043488	7,389802	29,851239	24,75543
11	0,470688	0,0717	0,03962	7,6361283	27,856242	27,41263
12	0,485397	0,0687	0,046229	7,569928	31,1433	24,30701

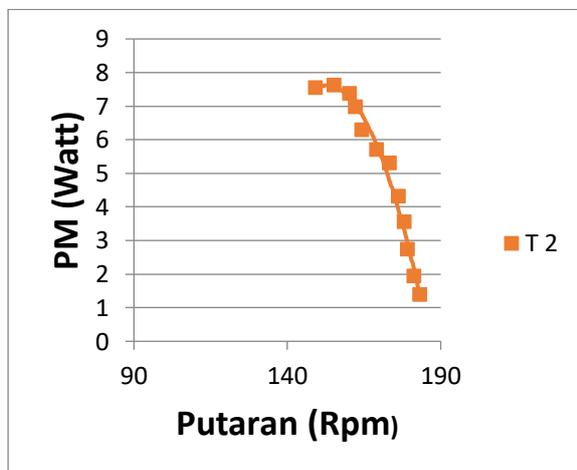
Karakteristik Torsi terhadap Putaran turbin dengan Kecepatan Aliran 1,2 m/s Turbin Double Spherical (T2)



Gambar 2.3 merupakan kurva karakteristik torsi terhadap putaran Turbin Double spherical (T2).

Gambar 2.3 merupakan kurva karakteristik torsi terhadap putaran Turbin *Double spherical* (T2), pada kecepatan aliran 1,2 m/s. Sebagai variabel pengujian, turbin diuji dengan kecepatan aliran 1,2 m/s dengan variasi beban . Gambar 4.3 menunjukkan nilai torsi yang selalu bertambah, berbanding lurus dengan penambahan beban dan berbanding terbalik dengan nilai putaran turbin. Nilai torsi terbesar pada Turbin *Double Spherical* (T2) adalah 0,485397 pada putaran 149 rpm.

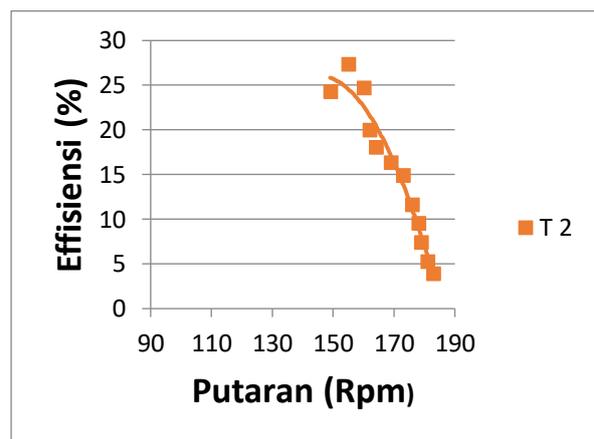
Karakteristik Daya Mekanik terhadap Putaran Turbin dengan Kecepatan Aliran 1,2m/s Turbin Double Spherical (T2)



Gambar 2.4 merupakan hasil pengujian turbin Double Spherical (T2) pada kecepatan aliran 1,2 m/s dengan variasi pembebanan.

Gambar 2.4 menunjukkan bahwa penambahan beban pada turbin dapat mempengaruhi putaran turbin. Semakin besar pembebanan yang diberikan pada turbin, maka putaran turbin mengalami penurunan kemudian berhenti. Perpotongan antara putaran turbin

dan daya mekanik menghasilkan suatu kurva parabola dimana semakin besar penambahan beban yang diberikan pada turbin maka daya mekanik yang dihasilkan turbin semakin besar sampai mencapai titik puncak tertentu kemudian turun. Titik puncak tersebut merupakan titik optimum turbin dapat menghasilkan daya mekanik terbesar. Titik puncak turbin *Double Spherical* (T2) menghasilkan daya mekanik sebesar 7,6361283Watt pada putaran 155 rpm.



merupakan kurva karakteristik efisiensi terhadap putaran turbin *Double Spherical* (T2), pada kecepatan aliran 1,2 m/s. Sebagai variabel pengujian, turbin diuji dengan kecepatan aliran 1,2 m/s dengan variasi beban. Penambahan beban turbin berpengaruh terhadap putaran turbin dan efisiensi turbin. Putaran turbin mengalami penurunan saat turbin diberi penambahan beban. Sedangkan semakin besar beban yang diberikan maka efisiensi turbin akan semakin besar sampai mencapai maksimum kemudian mengalami penurunan. Titik maksimum tersebut menunjukkan titik optimum kinerja turbin karena menghasilkan efisiensi turbin terbesar Nilai efisiensi maksimum pada turbin *Double Spherical* (T2), adalah 27,41263 % pada putaran 155 rpm.

5. Kesimpulan

Dari keseluruhan proses “Pembuatan turbin *Double Spherical* sebagai upaya memperbaiki kinerja Turbin *Spherical* “ dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

1. Spesifikasi Turbin *Double Spherical* berbasis NACA 0016 dengan sudut putar 30° adalah sebagai berikut:
 - a. Diameter runner 250 mm
 - b. Jumlah runner 2 buah
 - c. Panjang poros turbin 700 mm
 - d. Tebal NACA 14,4 mm
 - e. Bahan runner terbuat dari Fiber
2. Hasil perbaikan kerangka uji turbin dengan menambah jumlah runner yang dipasang secara paralel
3. Hasil kinerja turbin *Double Spherical helix* dengan sudut putar 30° pada kecepatan aliran 1,2 m/s dan 1,4 m/s yaitu:
 - a. Berdasarkan grafik Karakteristik Torsi terhadap Putaran pada kecepatan aliran 1,2 m/s menghasilkan nilai torsi terbesar pada putaran 155 rpm sebesar 0,47069 kg.
 - b. Berdasarkan grafik Karakteristik Daya Mekanik terhadap Putaran pada kecepatan aliran 1,2 m/s menghasilkan nilai daya mekanik terbesar pada putaran 157 rpm sebesar 7,734659 Watt.
 - c. Berdasarkan grafik Karakteristik Efisiensi terhadap Putaran pada kecepatan aliran 1,2 m/s menghasilkan nilai efisiensi terbaik pada putaran 157 rpm sebesar 27,76634 %.
4. Turbin *double spherical helix* dengan kecepatan 1,2 m/s dan pemberian energi yang sama menghasilkan daya mekanik sebesar 7,73466 Watt pada putaran 157 rpm untuk kecepatan 1,2 m/s. Sedangkan turbin *spherical helix* dengan kecepatan dan pemberian energi yang sama dengan turbin *double spherical helix* menghasilkan daya mekanik sebesar 5,54235 Watt dengan putaran 120 rpm untuk kecepatan 1,2 m/s.

Daftar Pustaka

- Atmaja, Bima Arif, dkk 2015 *Rancang Bangun Turbin Aliran Silang dengan Runner Berbasis Bentuk Spherical*. Tugas akhir. Semarang Jurusan Teknik Mesin Polines.
- Fajar Muhammad, dkk. 2013. *Penerapan Kincir air Bergenerator sebagai Sumber Energi Listrik di Desa Djewatah*. Program Kreativitas Mahasiswa. Semarang
- Gunadi. 2010. *Fiberglass*. http://www.crayonpedia.org/mw/BAB_12_Fiberglass_Gunadi. (12 juni 2014)
- Hatomi, Fasri. 2011. *Analisis CFD Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Pada Kapasitas 1,2 KW*. Skripsi. Depok: Program Studi Teknik Mesin UI.
- Kaprawi 2011. *Pengaruh Geometri Sudu dari turbin air Darrieus Terhadap Kinerjanya*. Prosiding Seminar Nasional AvoER ke -3 ISBN:979-587-395-1. Palembang
- Lukmanto, Djoko. 2012. http://slideshare.net/gilagilaan/Turbin_Air-2. 12 juni 2014
- Nishi, Yasuyuki, dkk. 2015. "Study on Undershot Cross-flow Water Turbine with Straight Blades" *International Journal of Rotating Machinery Volume 2015*, Nomor 817926, Jepang.
- Paraschivouiu I. 2002. *Konsep Turbin Aliran Silang*. USU Institutional Ramani, K. V., 1992, *Rural electrification and rural development, rural electrification Guide book for Asia & Pacific*, Bangkok.
- Sahim, Kaprawi, dkk. 2014. "Experimental Study of Darrieus-Savonius Water Turbine with Deflector. Effect of Deflector on the Performance" *International Journal of Rotating Machinery. Volume 2014*, Nomor 203100.