

# PENGARUH GEOMETRI SUDU DARI TURBIN AIR DARRIEUS TERHADAP KINERJANYA

**Kaprawi**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

Jl.Raya Prabumulih, km 32

Inderalaya-30622

E-mail: kaprawis@yahoo.com

## **Ringkasan**

*Penelitian pengaruh geometri sudu turbin air Darrieus dilakukan secara eksperimental dalam aliran air sungai. sudu memiliki ketebalan yang bervariasi dan geometri yang sesuai dengan NACA 0015, 0020,0030 dan sudu lainnya adalah NACA 4424. Pengukuran dilakukan di saluran irigasi yang ada di Lubuk Linggau dengan kecepatan konstan 0,8 m/s. Hasil menunjukkan bahwa untuk sudu yang simetris, kurva kinerjanya serupa tetapi perbedaan dalam nilai-nilai dimana ketebalan pisau yang terkecil, koefisien daya dan ujung kecepatan rasionya semakin tinggi dari 1,8 sampai 2,5. Untuk sudu simetris (NACA 4424), koefisien daya dan kecepatan pengoperasian turbin lebih rendah dari sudu simetris yang ada.*

## **Abstract**

*The study to the influence of blade geometry of Darrieus water turbine was done experimentally in water stream flow. The blades have variable thickness and geometry which are correspond to NACA 0015, 0020,0030 and the other blade is NACA 4424. The measurements were conducted in a channel of irrigation in Lubuk Linggau with constant stream velocity 0,8 m/s. The results show that for symmetrical blades, the curves of performance are similar but difference in values where the smallest the blade thickness the higher the power coefficient and the tip speed ratio operation range from 1,8 to 2,5. For the unsymmetrical blade (NACA 4424), the power coefficient and the speed of operation of turbine are lower than that one of symmetrical blade.*

**Keywords :** *blade, geometry, Darrieus water turbine, power coefficient, performance*

## **1 PENDAHULUAN**

Aliran air dari sungai mempunyai energi kinetik yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air. Jenis turbin air aliran sungai yang sering digunakan adalah turbin Gorlov dan Darrieus. Dari kedua turbin ini, turbin Darrieus mempunyai torsi yang lebih besar dan sudunya dapat dibuat dengan mudah. Sudu ini memakai standard NACA agar menghasilkan *lift* dan aliran disekitarnya tidak terjadi separasi apabila sudut serang 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 turbin lainnya seperti jenis Pelton, Francis dan lainnya. Walaupun demikian untuk mendapatkan daya yang besar maka ukuran

turbin dapat diperbesar dan dipasangkan pada sungai yang besar dan kapasitas besar pula.

## **2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bila sudu turbin dipasang tetap dan tidak dapat diatur maka sudut serang dari sudu akan berubah setiap saat tergantung dengan posisi dari sudu tersebut yang akibatnya merubah gaya dinamik air kepada sudu tersebut dan oleh karena itu turbin cenderung terjadi *shaking*. Oleh karena itu salah satu untuk mengatasinya adalah dengan membuat sudu turbin dapat diatur *pitch* atau sudut sudunya (Kirke et al.,2008). Selain itu dapat meningkatkan *self-starting torque* dan efisiensi turbin.

Salah satu kelemahan turbin Darrieus adalah rendahnya *self-starting torque*, oleh karena itu Kyuzuka (2008) menggabungkan sudu turbin Savonius untuk mengatasi hal tersebut. Oleh karena itu dengan mengkombinasikan sudu tersebut yang

posisinya lebih dekat dengan poros akan meningkatkan torsi awal turbin secara signifikan.

Beberapa jenis dan geometri sudu telah diberikan oleh Claessens (2006) tentang kinerjanya pada turbin angin Darrieus. Untuk sudu NACA 0021,0018 dan 0015 koefisien daya praktis sama besarnya namun beroperasi pada TSR yang sedikit berbeda. NACA 0021 batas operasi yang baik pada TSR 1,5 – 4,3 untuk NACA 0018 pada 2,0 – 4,3 dan NACA 0015 pada 2,2 – 4,3 sedangkan NACA 0012 pada batas yang sempit yaitu 3,0 – 4,3 dan efisiensi yang paling rendah diantara ketiga sudu diatas.

Kondisi aliran mempengaruhi kinerja sudu dari turbin. Diantara beberapa jenis sudu diatas maka sudu yang baik untuk semua kecepatan aliran ada jenis sudu NACA 0015 dan 0018 karena mempunyai koefisien *lift* bergerak naik seiring dengan kenaikan kecepatan aliran, namun tidak sama halnya dengan sudu NACA 0012 dan 0015 yang mana koefisien *lift* mulai bergerak naik mulai pada saat Reynolds tertentu (Claessens,2006).

Claessens (2006) telah mengembangkan geometri jenis sudu DU-06-W-200 yang merupakan pengembangan dari sudu NACA 0020 namun pada bagian dekat leading edge salah satu busurnya dibuat lengkung kedalam dan dekat dengan leading edge salah satu sisinya kelengkungannya bergeser kedepan. Hasil simulasi dari sudu jenis ini mempunyai koefisien daya lebih tinggi dan TSR batas operasi lebih besar.

Soliditas turbin mempengaruhi batasan penggunaan turbin Darrieus yang mana hal ini telah diberikan studi secara eksperimental dan teoritis oleh Hilton (1983) untuk soliditas 0,18, 0,24 dan 0,3 dengan memakai sudu simetris NACA 0015. Apabila soliditas naik maka batas operasi turbin maksimum pada  $TSR < 4,3$  akan tetapi bila soliditas turun maka batas operasi besar namun efisiensi maksimumnya praktis sama.

Kinerja turbin tergantung dengan kecepatan air, soliditas, dan sudut kemiringan sudu yang telah ditunjukkan oleh Shiono et al. (2002). Studi menunjukkan bahwa efisiensi turbin akan naik apabila kecepatan air naik, untuk kecepatan air 1,4 m/s efisiensi maksimum adalah sekitar 17% dan bila kecepatan turun menjadi 0,6 m/s maka efisiensi maksimum adalah sekitar 11% yang terletak batas TSR antara 0,8 – 2,0. Soliditas yang terbaik adalah antara 0,2 – 0,3. Selain itu dengan membuat sudu miring dengan sudu tertentu maka turbin menjadi turbin heliks (Gorlov). Torsi yang terbesar terjadi pada sudut kemiringan sudu  $90^\circ$  (tubin Darrieus).

Penggunaan *software fluent* untuk studi kinerja turbin Darrieus telah diberikan oleh Lain et al. (2010) dan dari hasil simulation telah divalidasi secara eksperimental. Dengan model turbin

mempunyai tiga sudu maka batas operasi turbin adalah anatara 1,2 – 2,0 dan turbin mempunyai efisiensi maksimum sekitar 30% pada TSR 1,74.

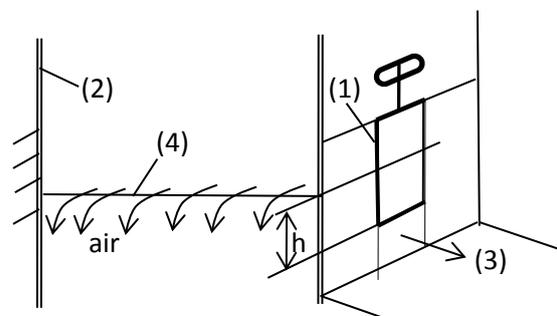
Sebagian besar sudu turbin Darrieus menggunakan sudu berstandar NACA jenis simetris, namun Batten (2006) mencoba menggunakan sudu tak-simetris untuk mengetahui kinerja turbin air Darrieus karena sudu tersebut dapat mengurangi kavitasi yang terjadi atau mengurangi tekanan minimum yang terjadi. Jenis sudu seri NACA 63-2XX dan 63-8XX telah digunakan dalam studi ini. dengan memakai teori *blade element momentum* kedua sudu ini menunjukkan bahwa turbin dengan memakai kedua sudu ini mempunyai perbedaan kinerja yang sangat kecil dan dapat diabaikan.

Ketebalan sudu mempengaruhi kuat tidaknya sudu turbin, sudu yang tebal mempengaruhi pada semakin besarnya tahanan (*drag*) pada sudut serang yang kecil dan kekuatannya besar. Ketebalan yang optimum sulit ditentukan. Pada umumnya ketebalan sudu 12% sampai 18% sering kali digunakan.

Turbin Darrieus sangat mudah dibuat dibandingkan dengan turbin aliran sungai Gorlov karena sudu yang lurus. Dalam studi ini, diberikan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh geometri dalam hal ini adalah ketebalan dari sudu yang simetris (NACA 00XX) dan geometri sudu yang tidak simetris dalam hal ini NACA 4424.

### 3 METODE PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan pada saluran keluaran pintu air (3) dam irigasi di sungai kelingi Lubuk Linggau. Skema dam untuk irigasi diberikan pada Gbr.1. Sungai didam sehingga akan terjadi *overflow* (melimpah) apabila permukaan air melebihi tinggi dam (4). Pada salah satu dinding sungai (2) dipasang pintu air (1) yang diangkat sebagian sehingga air (3) akan keluar mengalir pada saluran irigasi. Dengan system ini kecepatan air akan konstan karena head,  $h$  adalah konstan. Air keluar dari pintu air diukur dan nilainya adalah 0,84 m/s. Posisi pengukuran pada jarak sekitar 5 m dari dinding sungai dan aliran sudah seragam kecepatannya.



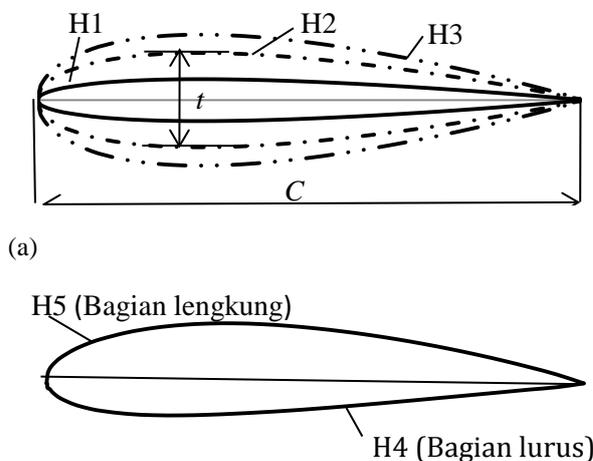
Gambar 1: Skema sistem dam sungai

Turbin yang digunakan berdiameter  $d = 300$  mm dan panjang  $L = 300$  mm yang mempunyai sudu  $B = 3$  sudu (Gambar 2a). Soliditas turbin dipili  $\sigma = 0,2$  dengan demikian maka lebar sudu  $C$  turbin haruslah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{CB}{\pi d} \text{ atau } C = \frac{\sigma \pi d}{B}$$

sehingga  $C = 62,8$  mm.

Sudu simetris yang digunakan mempunyai ketebalan  $t$  yang bervariasi yang dinyatakan dalam NACA 0015 kita sebut H1, NACA 0020 disebut H2, NACA 0030 disebut H3 (Gambar 2a) dan sudu tak-simetris adalah NACA 4424 disebut H4 (Gambar 2b) dan H5 yang mana H4 untuk sudu bagian lurus menghadap keluar poros sedangkan H5 bagian lurus dipasang menghadap ke poros (bagian lengkung menghadap keluar poros).

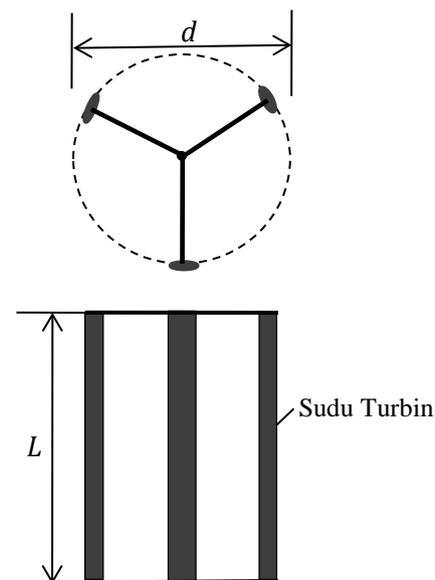


(b)

**Gambar 2: Sudu hydrofoil simetris dan tak-simetris**

Turbin dimasukkan kedalam aliran air sampai kerangka dan roda torsi berada beberapa centimeter diatas permukaan air. Untuk satu jenis sudu yang digunakan, tanpa dibebani dengan pembeban maka turbin akan berputar setelah dicelupkan di aliran sungai dan setelah beberapa menit kemudian putaran turbin diukur dengan *digital tachometer* dengan menyorotkan sinar keluar dari *tachometer* ke roda torsi. Sistem pengukuran torsi dengan dynamometer pita yang terbuat dari kulit. Setelah itu turbin dibebabani dengan suatu masa pada salah satu dynamometer pita, dalam hal ini batu kecil (sebut  $m_1$ ) yang sudah ditimbang terlebih dahulu, dan kemudian dengan adanya pembebanan yang kecil ini maka turbin akan menurun putarannya yang setelah didiamkan beberapa menit agar putaran sudah konstan diukur lagi putaran roda torsi / turbin dan diukur pula gaya pada *tubular spring scale* yang terpasang bersatu dengan dynamometer

pita. Setelah selesai pengukuran maka masa pembeban ditambah lagi masa sebesar  $m_2$  (sudah ditimbang) dan akibatnya putaran turbin akan menurun yang setelah stabil operasinya dilakukan pengukuran putaran lagi dan gaya pada *tubular spring scale*. Begitulah seterusnya prosedur pengukuran dilakukan dengan menambah beban sampai pada suatu saat dimana dengan suatu pembebanan turbin akan berhenti berputar. Setelah selesai maka sudu turbin diganti dengan bentuk yang lain dan prosedur pengukuran sama seperti diatas. Turbin Darrieus yang diuji seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



**Gambar 3: Turbin Darrieus**

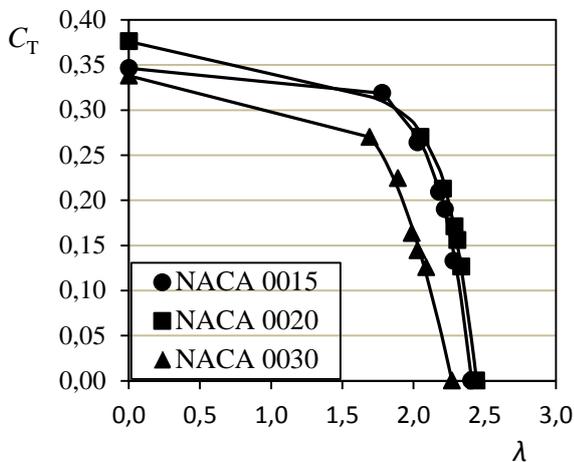
#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu parameter kinerja turbin adalah torsi yang dihasilkan oleh turbin. Torsi yang diukur pada pulley torsi adalah sama dengan torsi yang dihasilkan oleh turbin oleh karena energi yang dihasilkan adalah konstan untuk suatu putaran dan pembenanan yang konstan pula. Perlu dicatat bahwa studi pengaruh ketebalan atau jenis sudu simetris yang digunakan adalah untuk soliditas 0,2 dan studi untuk bentuk sudu tak-simetris digunakan soliditas 0,35 atau dengan diameter rotor yang konstan dan jumlah sudu yang sama maka semakin besar lebar sudu maka semakin besar soliditasnya.

Pengaruh koefisien torsi dengan sudu ketebalan yang berbeda yang dinyatakan dengan standard NACA 0015, 0020 dan 0030 diberikan pada Gbr. 4. Sebagai contoh NACA 0015 maka ketebalan maksimum dari sudu adalah 15% dari lebar sudu (*chord*). Torsi yang dihasilkan turbin praktis sama dalam batas operasi  $1,3 < \lambda < 2,5$  untuk sudu

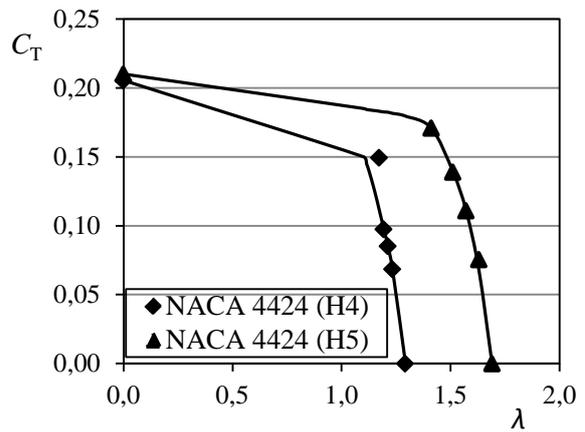
NACA 0015 dan 0020 karena profil hampir segaris satu sama lain. Oleh karena itu pengaruh ketebalan sudu terhadap torsi yang dihasilkan dalam batas ketebalan 15% s.d 20% dapat dikatakan identik.

Dalam batas operasi  $0 \leq \lambda \leq 1,3$  dapat dikatakan bahwa perubahan yang signifikan terhadap  $\lambda$  untuk perubahan pembebanan yang kecil yang dan oleh karena itu ditarik garis lurus akibat kurang presisi alat ukur yang digunakan yaitu torsimeter pita. Profil torsi untuk sudu NACA 0030 terdapat perbedaan yang signifikan dengan NACA 0015 DAN 0020. Semakin tebal sudu maka semakin menurun putaran turbin dan semakin kecil torsi yang dihasilkan.hal ini disebabkan oleh mulai meningkatnya *drag* yang dihasilkan akibat gesekan dan semakin menurun *lift* yang dihasilkan untuk memutarakan turbin.



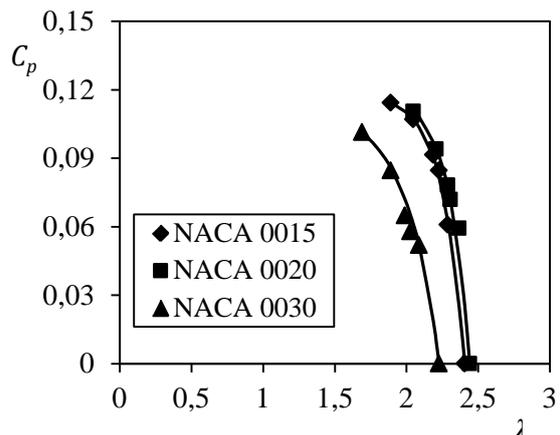
**Gambar 4: Pengaruh tebal sudu terhadap torsi ( $\sigma = 0,2$ )**

Penggunaan sudu tak-simetris yaitu dalam hal ini NACA 4424 dengan konfigurasi H4 dan H5 untuk soliditas 0,35 memberikan hasil profil torsi seperti pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa perbedaan pemasangan sudu tak-simetris menghasilkan variasi torsi yang berbeda nilainya namun profilnya masih sama. Untuk konfigurasi H4 mempunyai batas operasi turbin sangat sempit yaitu  $1,15 < \lambda < 1,30$  sedangkan untuk sudu bagian lengkung menghadap keluar poros (H5) maka daerah operasi turbin disekitar  $1,4 < \lambda < 1,7$  yang lebih tinggi dari H4. Sudu dengan pemasangan bagian lengkung menghadap keluar poros menghasilkan torsi lebih besar. Namun apabila turbin menghasilkan torsi yang sama maka haruslah turbin beroperasi pada  $\lambda$  yang berbeda. Perlu dicatat bahwa semakin besar nilai  $\lambda$  suatu operasi turbin maka semakin baik kinerja turbin tersebut karena dengan kecepatan tinggi maka sudut serang semakin kecil dan semakin kecil kemungkinan terjadinya *stall* aliran di sekitar sudu. Terjadinya *stall* akan mengurangi kinerja turbin turbin.



**Gambar 5: Pengaruh geometri terhadap torsi ( $\sigma = 0,35$ )**

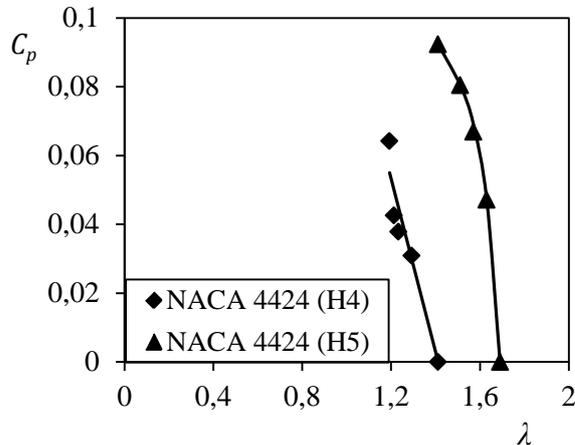
Efisiensi atau koefisien daya turbin untuk tiga jenis ketebalan sudu yang digunakan diberikan oleh Gambar 6. Kita lihat pada Gambar bahwa sudu NACA 0015 dan 0020 mempunyai perbedaan koefisien daya yang sangat kecil dan profilnya praktis sama. Kedua sudu tersebut ternyata mempunyai kinerja yang lebih baik dari NACA 0030 yang lebih tebal oleh karena dengan kedua sudu tersebut menghasilkan batasan operasi turbin pada putaran lebih tinggi dan apabila pada kecepatan putar yang sama maka efisiensi lebih tinggi. Untuk NACA 0030 beroperasi pada putaran lebih kecil. Batasan operasi tersebut adalah  $1,8 < \lambda < 2,5$  untuk sudu NACA 0015 dan 0020 serta  $1,5 < \lambda < 2,2$ . Semakin tinggi putaran turbin maka akan semakin baik kinerjanya karena turbin pada putaran tinggi akan mengurangi terjadinya *stall* sehingga menaikkan efisiensinya.



**Gambar 6: Pengaruh tebal sudu terhadap  $C_p$  ( $\sigma = 0,2$ )**

Gambar 7 memberikan perubahan koefisien daya terhadap *tip speed ratio* untuk geometri sudu tak-simetris NACA 4424. Sudu dengan konfigurasi H5 mempunyai putaran yang lebih tinggi dan begitu pula dengan koefisien dayanya. Kedua sudu

mempunyai batasan operasi yang sempit dan kecil yaitu  $1,2 < \lambda < 1,4$  untuk konfigurasi H4 dan  $1,4 < \lambda < 1,75$  untuk konfigurasi H5. Oleh karena itu konfigurasi H5 mempunyai kinerja yang lebih baik. Pengaruh soliditas dapat dilihat antara Gambar 6 dan Gambar 7 yang mana apabila soliditas naik maka koefisien daya semakin turun karena sudu semakin lebar yang membuat *drag* menjadi naik dan *lift* turun.



**Gambar 7: Pengaruh geometri terhadap  $C_p$  ( $\sigma = 0,35$ )**

## 5 KESIMPULAN

Turbin aliran sungai yang mana sering digunakan salah satunya adalah turbin jenis Darrieus telah dipelajari secara eksperimental. Ketepatan hasil yang didapat tergantung dengan kualitas pembuatan turbin yang mana dinding sudu harus dibuat licin, ukuran harus tepat yang menghasilkan kestabilan operasi turbin. Pemakaian sudu dengan ketebalan antara 15% s.d 20% adalah yang terbaik untuk digunakan dibandingkan dengan sudu yang lebih tebal lagi karena mempunyai efisiensi dan

kecepatan operasi yang lebih tinggi. Sedangkan untuk sudu yang tidak simetris adalah tidak mempunyai efisiensi yang lebih baik dari sudu simetris karena kinerjanya lebih kecil dari sudu simetris.

## 6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Batten W.M.J, Bahaj A.S., Molland A.F., Chaplin J.R, Hydrodynamics of Marine Current Turbines, Journal of Renewable Energy, Vol. 31 p. 249–256, 2006.
- [2] Claessens M.C, The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind Turbines, Master Thesis of Delf University of Technology, 2006.
- [3] Hilton D.J, Performance of a Darrieus Water Turbine at Various Solidities, Eight Australasian Fluid Mechanic Conference, University of New Castle, 1983.
- [4] Kirke B.,Lazauskas L., Variable Pitch Darrieus Water Turbine, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.3 No. 3, 2008.
- [5] Kyuzuka Y., An Experimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation, Journal of Fluid Science and Technology, Vol.3 No. 3, 2008.
- [6] Lain S., Osario C., Simulation and Evaluation of a Sraight Bladed Darrieus-Type Cross flow Marine Turbine, Journal of Scientific & Research, Vol. 69 p.906-912, 2010.
- [7] Mitsuhiro Shiono, Kdsuyuki Suzuki, Sezji Kiho, Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations, Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, May 26–31, 2002.