DARRIEUS WATER TURBINE OF SIX BLADES COMBINATION OF NACA 0015 AND 0025 AIRFOIL

Kaprawi[1], Dyos Santoso[2], Ilyas[3]

[1,2,3] Mechanical Engineering Departement, Sriwijaya University
[*]Korespondensi Pembicara. Phone: +62 711 580139, Fax: +62 711 580139
E-mail: kaprawi@unsri.ac.id

ABSTRACT

The research of Darrieus water turbine with six blades combination of NACA 0015 and 0025 was done in water flow at one of irrigation gate in Gumawang, South Sumatera. Three blades of NACA 0015 and 0025 airfoils were set at different position making six blades Darrieus water turbine. The water velocity was 0.606 m/s and turbine had solidity 0.382. The result of this research shows that this turbine had the limit of operation tip speed ratio ranged from 1.51 to 3.22 and the maximum efficiency is 13.48 % at tip speed ratio 1.56. The result is compared to the three blade Darrieus water turbine of NACA 0015 which has the operation tip speed ratio range from 1.55 to 2.85 and maximum efficiency 13.36 % at tip speed ratio 1.97. So a small increase of efficiency and a decrease of speed at maximum efficiency were observed for this kind of turbine.

Keywords: *Water Turbine, Darrieus, performance, airfoil,blade*

1. PENDAHULUAN

Aliran air irigasi untuk pengairan persawahan 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 NACA agar 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 dengan turbin lainnya seperti jenis Pelton dan Francis yang penggunaannya untuk head yang tinggi. Walaupun demikian untuk mendapatkan daya yang besar maka ukuran dimensi turbin dapat diperbesar atau dengan memasang turbin yang banyak.

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 *low head* dimanfaatkan turbin *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 terhadapap 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 yang berbeda maka akan semakin berubah kinerjanya yang mana apabila kecepatan air semakin tinggi maka semakin besar efisiensinya. Selain itu juga kemiringan (bentuk heliks) sudu atau sudu turbin Gorlov pada sudut heliks $43{,}7^{o}$ mempunyai efisiensi yang paling tinggi dibanding dengan sudut heliks lainnya yang mana efisiensi tertingginya adalah sekitar 15%.

Kyozuka et al. (2006) memberikan pengaruh jumlah sudu dan jenis sudu tak simeris yang digunakan untuk mempelajari kenerjanya. Dari hasil studi eksperimentan tersebut menunjukkan bahwa jumlah sudu tiga buah mempunyai sudu efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah sudu dua buah. Selain itu dengan bentuk camber lingkar memperbesar efisiensinya.

Antheaume, et.al (2007). Mengemukakan bahwa berdasarkan simulasi dan eksperimen diperoleh efisiensi maksimum untuk turbin Darrieus 23%, turbin Gorlov 35% 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 *deflector plate* untuk menaikkan efisiensi dari turbin air Savonius menjadi 35% pada *tip speed ratio* 1,08.

Consul et al. (2009) memberikan secara numerik tentang pengaruh *solidity* dan jumlah sudu terhadap turbin *cross-flow* yang mempunyai dua atau empat sudu melalui simulasi dengan angka Reynolds aliran yang tinggi. Turbin dengan soliditas yang rendah terjadi *stall* aliran dan dengan menaikkan jumlah sudu maka koefisien daya naik dari 0,43 ke 0,53. Lain et al. (2010) menggunakan *Commercial Solver* (*fluent*) untuk mengetahu kinerja turbin air Darrieus. Hasil menunjukkan bahwa koefisien daya maksimum adalah 0,33 pada *tip speed ratio* 1,6 dan solititas 0,89. Kirke et al. (2008) menunjukkan bahwa sudut sudu yang dapat diatur posisinya menghasilkan *starting torque* yang 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 semakain 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%.

Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kinerja turbin Darrieus dengan enam sudu yang terdiri dari tiga sudu NACA 0015 dan tiga sudu NACA 0025 yang dipasang secara selang selih sehingga menghasilkan turbin dengan enam sudu. Hasilnya dibandingkan dengan hasil kinerja dari turbin dengan tiga sudu. Pemakaian kedua sudu ini, di satu sisi dengan ketebalan yang rendah akan mengurangi drag dan ketebalan yang tinggi untuk menaikkan efisiensi.

2. METODE PENELITIAN

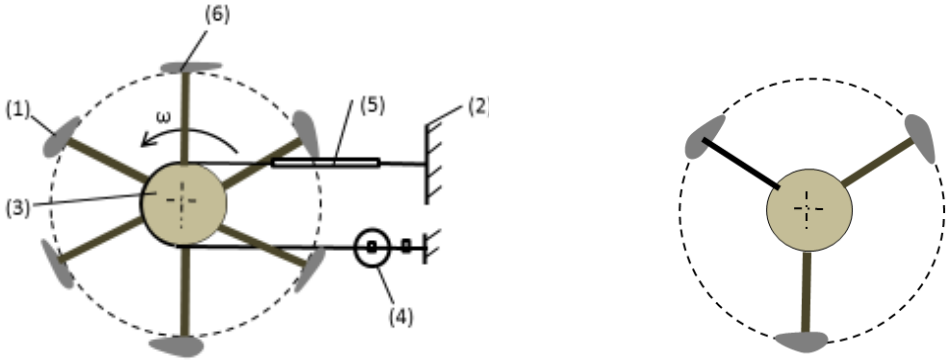
Pengujian ini dilakukan pada saluran keluaran pintu air irigasi dam, dimana sungai komering yang telah di bendung dan dibuat irigasi yang disalurkan ke kabupaten OKU Timur dan pengujian ini tepatnya dilakukan di desa trimoharjo BK 14. Llimpahan air dapat di atur menggunakan pintu air sesuai kebutuhan lahan persawahan. Dengan sistem ini kecepatan air akan konstan karena head, h adalah konstan. Tempat irigasi yang akan kami pakai untuk pengujian turbin air Darrieus mempunyai lebar irigasi 1 meter, tinggi irigasi 1 meter dan tinggi air 0,38 meter.

Dalam mengukur kecepatan air irigasi menggunakan busa yang diberi bandul dimana busa tersebut dijatuhkan kepermukaan air dan waktu yang ditempuhnya diukur dengan *digital stop watch* pada jarak satu meter dalam ukuran detik. Hasilnya digunakan untuk menghitung jarak dibagi waktu tempuh sehingga didapat kecepatan aliran air irigasi tersebut. Hasil ini akan diverifikasi dengan kecepatan yang dihasilkan dari pembacaan permukaan air pada saluran irigasi yang sudah standard dibuat saat saluran ini dibuat.

Turbin yang digunakan berdiameter 300 mm dan panjang 300 mm yang mempunyai jumlah enam sudu simetris yang nantinya akan dipasang selang seling dengan standard NACA yang berbeda (Gbr. 1). Dalam pengujian ini digunakan sudu NACA 0015 yaitu (6) pada Gbr. 1 dan NACA 0025 yaitu (1) pada Gbr.1. Lebar *chord* 60 mm, maka soliditas turbin adalah $\sigma = 0,38$. Sedangkan untuk turbin dengan tiga sudu saja dengan memakai NACA 0015 dan dengan *chord* yang sama maka soliditasnya adalah 0,19.

Prosedur penelitian turbin dimasukkan kedalam aliran air dan pulley torsi (3) berada beberapa centimeter diatas permukaan air dengan demikian maka sudu (1) dan (6) akan bergerak melingkar atau rotor akan berputar. Untuk satu jenis sudu yang digunakan, tanpa dibebani dengan pembeban (4) 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 pulley torsi (3). Diameter pulley torsi adalah 65 mm. Sistem pengukuran torsi dengan dynamometer pita yang mana pita/tali terbuat dari kulit yang bersentuhan dengan pulley torsi. Setelah itu turbin dibebabani dengan suatu masa (4), dalam hal ini beban yang sudah yang sudah diketahui beratnya dan kemudian dengan adanya pembebanan ini maka turbin akan menurun putarannya yang setelah didiamkan beberapa menit agar putaran sudah konstan diukur lagi putaran pulley torsi dan diukur pula gaya pada *tubular spring scale* (5) yang mempunyai batas gaya maksimum 1000 gram. Setelah selesai pengukuran maka masa pembeban ditambah lagi dan akibatnya putaran turbin akan menurun yang setelah stabil operasinya dilakukan pengukuran putaran lagi dan gaya pada *tubular spring scale*.

Pengukuran dilakukan seperti diatas untuk seterusnya prosedur pengukuran dilakukan dengan menambah beban sampai pada suatu saat dimana dengan suatu pembebanan tertentu turbin akan berhenti berputar.



(a). Enam sudu (kombinasi) (b). Tiga sudu (sama)

Gambar 1 : Turbin air Darrieus dengan enam sudu kombinasi

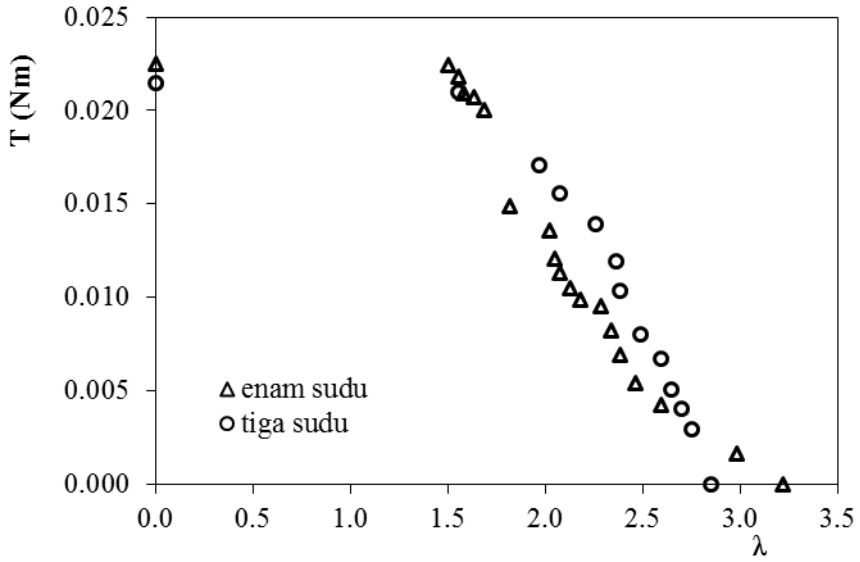
Gambar 2 : Turbin siap untuk diteliti pada saluran irigasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kecepatan air didapatkan 0,606 m/sec dan kecepatan ini adalah konstan selama penelitian. Parameter kinerja turbin, salah satunya, ditunjukkan dengan torsi yang dihasilkannya dan apabila torsi ini dikalikan dengan putaran akan menentukan besar daya yang dihasilkan. Gbr. 3 menunjukkan torsi yang berubah terhadap *tip speed ratio,* λ. Dapat diamati bahwa untuk $\lambda > 1,5$, dari kondisi tak berbeban, terjadi kenaikan torsi apabila turbin semakin dibebani dan putaran semakin turun. Kenaikan ini lebih lambat untuk sudu enam dibandingkan dengan sudu tiga dan oleh karena itu batas operasi dari turbin dengan enam sudu sedikit lebih besar dari tiga sudu. Torsi maksimum turbin dengan enam sudu sedikit lebih tinggi dari tiga sudu yang mana 0,022 Nm enam sudu dan 0,021 Nm tiga sudu pada sekitar $\lambda \approx 1,5$. Kondisi torsi pada batas $0 < \lambda < 1,5$ tidak dapat terukur oleh karena perubahan yang

kecil dari beban sudah menyebabkan turbin berhenti. Hal ini disebabkan kurang sensitifnya alat ukur torsi terhadap perubahan beban yang sangat kecil. Sesungguhnya torsi masimum adalah pada kondisi tidak berputar yang sedikit diatas torsi maksimum pada kondisi berputar.

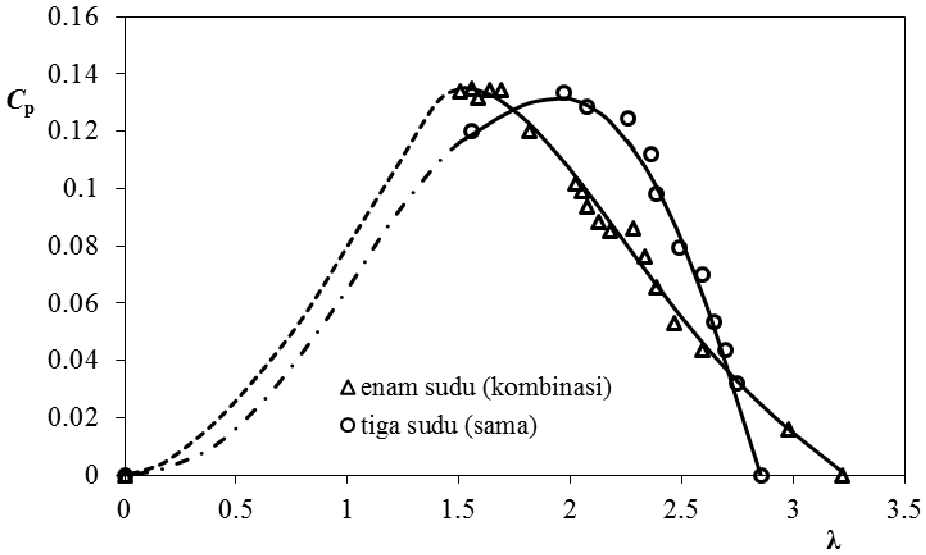
Profil torsi terjadi dua titik potong yaitu disekitar λ = 1,6 dan 2,4. Pada batas daerah ini torsi terjadi lebih besar pada turbin dengan tiga sudu, sedangkan $\lambda > 2{,}4$ maka torsi lebih besar untuk turbin enam sudu kombinasi dari NACA yang tidak sama.



Gambar 3 : Torsi

Efisiensi yang dinyatakan dengan koefisien daya, C_p diberikan oleh Gbr. 4 untuk turbin tiga sudu dan enam sudu kombinasi dua jenis airfoil. Batas operasi dari turbin tiga sudu adalah $1.55 < \lambda < 2{,}85$. Sesungguhnya batas operasi ini mulai dari $\lambda = 0$, namun oleh karena dalam batas $0 < \lambda < 1{,}5$ tidak dapat diukur karena alasan alat ukur yang digunakan, dengan demikian koefisien daya tergambar dalam batas tersebut dinyatakan dalam garis putus-putus. Hal ini sama untuk turbin enam sudu kombinasi dari dua jenis airfoil yang mana dalam batas $\lambda < 1{,}5$ tidak dapat diukur. Kurva koefisien daya didekati dengan polynomial derajat lima sehingga didapatkan kurva dengan garis kontinyu. Sama halnya untuk turbin enam sudu yang didekati dengan polynomial derajat empat. Tubin dengan tiga sudu mempunyai efisiensi maksimum 13,36 % pada *tip speed ratio* 1,97 dan untuk turbin dengan enam sudu kombinasi memberikan efisiensi maksimum 13,48% pada *tip speed ratio* 1,56. Oleh karena itu turbin dengan enam sudu efisiensi sedikit lebih besar dari tiga sudu, namun kondisi ini terjadi pada putaran yang lebih kecil dari turbin tiga sudu.Oleh karena semakin banyak sudu akan semakin besar koefisien hambat dari sudu akan tetapi menghasilkan daya yang lebih besar. Dari kurva dapat dilihat bahwa untuk turbin tiga sudu efisiensi turun secara cepat setelah mencapai efisiensi maksimumnya dengan kenaikan *tip speed ratio* dan akan nol pada $\lambda = 2{,}85$. Sedangkan untuk turbin enam sudu, setelah pada efisiensi maksimum, akan turun perlahan dengan kenaikan λ dan nol pada $\lambda = 3{,}22$. Selain itu dapat dilihat terdapat perpotongan kurva dari kedua

turbin yang menunjukkan terdapat dua kondisi operasi yang sama beserta karakteristiknya dari kedua turbin tersebut.



Gambar 4 : Koefisien daya

Studi ini juga menunjukkan pengaruh soliditas terhadap kinerja turbin, oleh karena untuk turbin dengan tiga sudu soliditasnya setengah dari enam sudu.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini kelebihan dari turbin enam sudu hasil kombinasi dari dua bentuk airfoil adalah dapat beroperasi pada batasan *tip speed ratio* yang lebih tinggi dari turbin dengan tiga sudu dan efisiensi sedikit lebih besar dari turbin tiga sudu yang mana efisiensi 13,48 % untuk turbin enam sudu dan 13,36 % untuk turbin tiga sudu.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental yang dilakukan pada kondisi riil dari saluran irigasi air ke persawahan. Beberapa faktor yang mempengaruhi dalam penelitian ini adalah aliran air dan kondisi fisik turbin. Kondisi aliran pada setiap titik tidak sama yang mana hal ini tergantung dari berbagai faktor diantaranya kondisi aliran datang yang keluar dari pintu air sehingga banyak terjadi ketidak seragaman aliran air. Hal lain adalah konstruksi dari turbin yaitu tentang presisi dari pembuatan dan pemasangan sudu turbin. Walaupun beberapa faktor yang mempengaruhi diatas, hasil pengukuran menunjukkan hasil yang dapat dijadikan bahan untuk design untuk skala yang besar.

REFERENCES

Alexander N. Gorlov, Alexander M. Gorban, Valentin M. Silantyev, 2001, Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow, Journal of Energy Resources Technology, Vol. 123.

Antheaume, S., Maitre, T., Achard, J., 2007, A Innovative Modelling Approarch to Investigate The Efficiency of Cross Flow Water Turbine Farms, 2nd IAHR International Meeting of The Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in

Hydraulics Machinery and Systems, Scientific Bulletin of The Politechnica University of Timisoara Transaction on Mechanics, Romania.

Consul C.A., Willden R.H.J., Ferrer E., McCulloch M.D., 2009, Influence of Solidity on the Performance of a Cross-Flow Turbine, Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, Uppsala, Sweden.

Golecha K., T.I.Eldho and S.V.Prabhu, 2011, Investigation on the Performance of a Modified Savonius Water Turbine with Single and Two Deflector Plates. The 11th Asian International conference on Fluid Machinery and The 3rd Fluid power Technology Exhibition, November 21-23, IIT Madras, Chennai, India.

Kaprawi S., 2011, Pengaruh geometri sudu terhadap kinerja turbin air Darrieus untuk aliran sungai, Seminar Nasional AVoER, FT UNSRI.

Kirke B. & Lazauskas L., 2008, Variable pitch darrieus Water turbines, Journal of fluid science and technology Vol. 3 No. 3.

Kyozuka Y., Kyoichiro Ogawa , Hisanori Wakahama, 2006, Tidal Current Power Generation making use of a bridge Pier, Renewable Energy Proceedings.

Lain S., C Osorio C., 2010, Simulation and evaluation of a straight-bladed Darrieus type cross flow marine turbine, Journal of scientific & industrial research, Vol. 69, pp. 906-912.

Shiono M., Kdsuyuki Suzuki, Sezji Kiho, 2002, Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations, Proceedings of The Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu, Japan, May 26–31.

Winchester J.D., Quayle S.D., 2009, Torque ripple and variable force : A comparaison of Darrieus and Gorlov-type turbinse for tidal stream energy conversion, Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy, Uppsala, Sweden.