

PENENTUAN PANJANG CHORD SUDU UNTUK MENINGKATKAN KINERJANYA MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CFD NUMECA

Carolus Bintoro*, Vicky Wuwung*, Rachmat Yulardi**

* Pengajar Program Studi Teknik Aeronautika

** Alumni Program Studi Teknik Aeronautika Tahun 2011

Staf Pengajar Program Studi Teknik Aeronautika

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40162

Telp. (62) (22) 2013 789 ext. 267, e-mail: bintoroc@yahoo.com

Abstrak

Tulisan ini membahas mengenai penentuan panjang chord sudu turbin air sumbu vertikal untuk meningkatkan kinerjanya menggunakan perangkat lunak CFD-Numeca. Perangkat lunak CFD-Numeca tersebut dimanfaatkan tidak hanya karakteristik hidrodinamikanya, namun juga untuk menentukan torsi mekanik teoritik yang dihasilkan. Melalui kaji banding nilai torsi mekanik tersebut pada berbagai panjang chord sudu, maka dapat ditentukan nilai yang maksimal. Proses trial and error pada kaji simulasi komputasional sangat lama dan umumnya akan memerlukan dana yang cukup tinggi. Oleh karena itu, pada kajian ini didukung dengan proses curve-fitting agar dapat memperpendek waktu simulasi. Sebelum simulasi, rancang profil sudu digambarkan dengan menggunakan perangkat lunak CATIA, yang kemudian digunakan sebagai inputan pada perangkat lunak CFD-Numeca. Model aliran datang berupa kecepatan air dengan $V=1,2$ m/s, dan nilai torsi mekanik sebagai keluaran yang diperoleh. Nilai torsi mekanik teoritik kemudian yang diperoleh dari delapan kali simulasi digunakan sebagai masukan pada perangkat lunak Matlab, yang kemudian digunakan pada proses curve fitting. Melalui plotting kurva yang dihasilkan, maka diperoleh nilai panjang chord sebesar 195,4 mm untuk torsi mekanik teoritik terbesar. Penelitian ini memberikan gambaran yang jelas mengenai teknik dalam penentuan jumlah iterasi proses simulasi CFD – Numeca, untuk penentuan panjang chord sudu turbin. Dengan demikian nilai torsi teoritik yang dihasilkan akan maksimal apabila digunakan panjang chord yang tepat pada sudu turbinnnya.

Kata kunci: Panjang Chord, Torsi Mekanik Teoritik, Curvefitting, CFD-Numeca, Matlab

Abstract

This paper discusses the determination of chord length of vertical axis water turbine blades to improve its performance using CFD-Numeca software. CFD-Numeca software is used not only to determine its hydrodynamics characteristics, but also to determine the theoretical torque mechanics that generated. Through a comparative review of mechanical torque values at various chord length of the turbine lade, then the maximum value can be determined. The trial and error process in computational simulation of study is very long and generally will require a high enough funds. Therefore, in this study is supported by curvefitting process in order to shorten the simulation time. Before the simulation, blade profile will be designed by using CATIA software, which is then used as an input to the CFD-Numeca software. The model comes in the form of velocity of water flow with $V = 1.2$ m/s, ant the value of mechanical torque as the output obtained. Mechanical torque values obtained from theoretical and eight time simulation is used as an insert in the Matlab Software, which then used the curve fitting process. Through plotting the resulting curve, chord length of the obtained value of 195,4 mm for greatest the theoretical mechanical torque. This study gives a clear picture of the technique in determining the number of iteration process of CDF-Numeca simulation, for the determination of turbine blade chord length. Thus the theoretical value of the torque generated will be used if the maximum length of chord will be used in blade turbine.

Keywords: Chord length, Theoretical mechanic torque, Curve fitting, CFD-Numeca, Matlab

1. PENDAHULUAN

Tanggal yang tepat terkait dengan kapan manusia pertama kali menggunakan mesin untuk membantunya dalam menyelesaikan pekerjaan sehari-hari, akan sulit untuk dipastikan. Namun demikian, sepertinya cukup jelas bahwa mesin pertama yang digunakan didasarkan pada prinsip rotasi sebagai peralatan untuk memberikan gerak kontinu dalam proses menghaluskan biji jagung atau memompa air. Jadi, terdapat alat penggiling, yang digerakkan oleh tenaga binatang atau manusia, dimana poros berputar dipasang secara vertikal dan digerakkan oleh batang horizontal, yang kemudian didorong atau ditarik disekitarnya melalui lintasan lingkaran [1]

Saat ini kebutuhan mendesak adalah untuk sesegara mungkin memenuhi kebutuhan masyarakat akan kecukupan energi yang bersih dan aman, yang mendorong untuk eksploitasi sumber energi terbarukan. Indonesia, sebagai negara kepulauan memiliki potensi energi aliran air untuk dapat dimanfaatkan, diantaranya aliran air sungai, selat, laut dll. Ekstaksi energi yang terkandung didalam aliran air, membutuhkan peralatan yang umumnya disebut dengan turbin, rotor dll. Beberapa kajian saat ini sedang dilakukan oleh tim Polban, dimana salah kajian yang telah dilakukan adalah, penambahan bidang wavy dan bidang vortex generator pada sudu turbinnya. Rancangan yang sedang dikembangkan adalah turbin Gorlov yang adalah turbin air sumbu vertikal dengan diameter sebesar 1 m dan tinggi 1.2 m. Pemilihan turbin ini terutama terkait dengan kelebihanannya, diantaranya putaran turbin tidak terpengaruh pada arah kecepatan airnya. Simulasi dilakukan dalam kaitan untuk menjustifikasi nilai persense daya yang diperoleh terhadap daya yang tersedia dalam aliran, dengan kondisi kecepatan aliran adalah 1.2 m. Namun demikian kajian ini adalah yang selalumenjadi pertanyaan yang timbul, berapakah panjang chord sudu yang harus digunakan agar kinerjanya lebih maksimal. Pengembangan kajian energi listrik alternatif ini terkait untuk dapat masuk dalam barisan penelitian pengembangan energi terbarukan dalam mencari solusi krisis minyak bumi. Di antara banyak kemungkinan sumber energi terbarukan, saat ini yang memiliki prosep yang paling baik untuk Indonesia adalah air. Hal tersebut dikarenakan potensi air banyak ditemui pada beberapa wilayah di Indonesia, juga massa air memiliki nilai sekitar 850 kali daripada massa angin.

Pertama kali, TASV dibuat tanpa kajian teoritis maupun komputasional secara mendalam, tetapi setelah kajian pada pintu air irigasi Jatiluhur, telah menghasilkan energi listrik. Studi eksperimen pada saluran irigasi Jatiluhur diperlihatkan pada Gambar 1. Walaupun telah menggem-birakan peneliti dan pelaksana pengujian, namun efisiensi yang dihasilkannya masih cukup rendah. Oleh karena itu, kajian teoritik dan komputasional TASV secara lebih mendalam dan detail dilakukan kembali



a. Pemasangan TASV



b. Penepatan pemasangan TASV

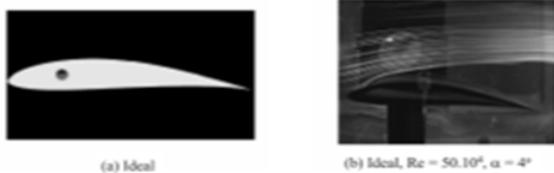


c. Diperoleh energi listrik

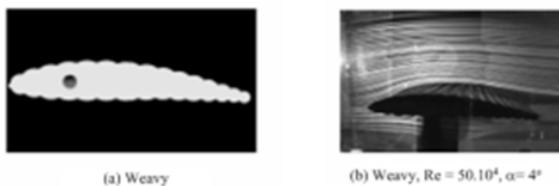
Gambar 1. Kaji eksperimental pada aliran sungai

Pada banyak proses perancangan, keperluan akan sistem komputer yang handal untuk mampu mendukung dan meningkatkan kinerja proses perancangan lebih ditujukan untuk kajian yang lebih kompleks dan perhitungan yang lebih detail. McLean menyatakan bahwa penggunaan komputer pada penyelesaian masalah ilmiah dan engineering lebih dikaitkan sebagai tools [2], sehingga semakain diperlukan sistem komputasi yang canggih. Dengan demikian dapat diharapkan bahwa TASV yang berkinerja unggul, untuk mampu mengekstrak energi sebesar mungkin dapat lebih diharapkan untuk direalisasikan.

Kaji peningkatan kinerja sebuah airfoil telah dilakukan oleh banyak peneliti, misalnya Wauquiez [3], telah melakukan pengamatan mengenai pemisahan aliran fluida oleh kerenaadaan permukaannya. Permukaan airfoil yang ideal dan pola aliran disekitarnya yang terjadi diperlihatkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa pemisahan aliran terjadi pada $Re = 5.10^4$ dan dengan sudut serang 4° , sedangkan pada Gambar 3 diperlihatkan aliran fluida disekitar permukaan airfoil yang bergelombang. Berdasarkan pada fenomena tersebut, maka usaha untuk mendapatkan peningkatan nilai karakteristik hidrodinami dilakukan dengan menfokuskan padanya. Dalam aplikasi industrial, kesalahan sering terjadi pada tahap pemilihan sudu turbin, sehingga menjadiny bagian yang tersulit [4], demikian pula dalam penelitian ini. Hal tersebut oleh karena pada kondisi riel sering ditemui adanya fenomena *unsteady aerodynamic*.



Gambar 2. Pola aliran disektitar profil ideal [3].



Gambar 3. Pola aliran disekitar profil wavy [3].

Penelitian pengembangan TASV yang difokuskan untuk penentuan profil ideal dilakukan di Politeknik Negeri Bandung sejak 2004. Proses desain didasarkan pada studi pola aliran yang selama ini dilakukan dengan teknik aerodina-mika melalui uji coba pada terowongan angin. Aplikasinya kemudian dengan hanya mengganti-kan kerapatan udara dengan air. Jenis turbin dengan sumbu vertikal memiliki beberapa keuntungan, namun demikian, prediksi perilakunya

menjadi lebih kompleks dan sulit [5]. Dalam menentukan kinerjanya, kajian lebih di fokuskan pada interaksi antara aliran fluida dan geometri sudu turbin, sehingga penelitian selama ini adalah mengembangkan profil sudu untuk peningkatan torsi mekanik dengan menggunakan perangkat lunak CFD-Numeca dan pemrograman pada perangkat lunak Matlab. Hasilnya profil sudu ditambahkan permukaan wavy dan vortex generator.

Kajian yang dilakukan selama ini masih terkendala dengan penentuan kerapatan sudu turbin dibandingkan dengan kelilingnya. Hal tersebut diyakini akan mempengaruhi kinerjanya. Oleh karena itu pada tulisan ini dipaparkan bagaimana kajian yang dilakukan untuk menentukan panjang chord agar torsi mekaniknya maksimal.

2. PEMODELAN SISTEM

Nilai torsi mekanik yang diusahakan untuk diperoleh semaksimal mungkin, secara teoritik merupakan perkalian antara gaya yang terjadi pada sudu turbin dengan jaraknya dari pusat turbin. Nilai gaya yang bekerja pada sudu turbin sangat tergantung pada karakteristik profil sudunya. Yang dimaksud dengan karakteristik profil sudunya adalah koefisien lift dan drag, dan persamaan gaya yang bekerja serta torsinya dapat dituliskan pada pers. (1) dan (2). Oleh karena pada TASV, terdapat 3 buah bilah maka dilakukan proses integrasi diantaranya.

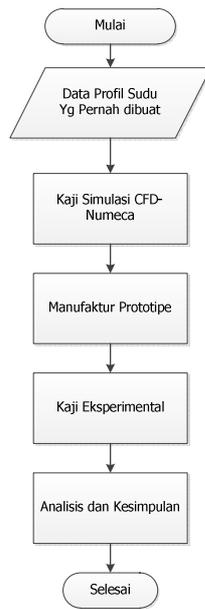
$$G_s = qS[C_l \sin(\alpha - \theta) + C_d \cos(\alpha - \theta)] \quad \dots (1)$$

$$T_s = r \cdot G_s = r \cdot q S [C_l \sin(\alpha - \theta) + C_d \cos(\alpha - \theta)] \quad \dots (2)$$

Berdasarkan pada pers.(1) dan (2), dapat diamati dengan jelas bahwa parameter yang menjadi perhatian adalah C_l dan C_d , sedangkan nilai α akan bervariasi sesuai dengan putaran TASV, θ dari pemasangan turbin, dan q tergantung pada kecepatan air yang bekerja. Dengan demikian apabila diasumsikan semua besaran tidak berubah, dan perubahan hanya pada profil sudu, maka nilai gaya tangensial akan berubah karena C_l dan C_d berubah. Dengan berubahnya nilai gaya tangensial, maka torsi mekanik teoritik TASV akan berubah, inilah yang menjadi fokus penelitian yang lalu.

Penelitian yang dikerjakan ini diselesaikan melalui kajian simulasi komputasional dan eksperimental. Kaji komputasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CATIA, CFD-Numeca dan Matlab. Sebelum dilakukan, maka kaji manufaktur prototipe dilakukan dengan dukungan mesin CNC dan teknologi material komposit laminasi basah yang ada di Polban. Kaji eksperimental TASV dilakukan pada sungai di dekat Polban. Metode yang dilakukan pada

penelitian ini dapat ditampilkan pada diagram alir sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.



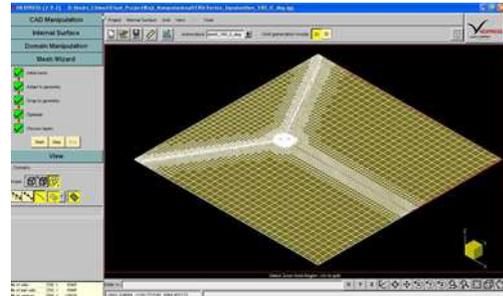
Gambar 4. Diagram alir penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, kajian fokus dan kotinue pada apa yang telah dikerjakan sebelumnya dalam rangka mendapatkan profil sudu yang ideal, yang mampu mengekstrak energi aliran air sebesar mungkin. Pada kajian sebelumnya, telah berhasil dimodifikasi airfoil NACA0020 dengan pelengkungan dan penambahan bidang wavy, yang mampu memberikan torsi mekanik yang besar ketika digunakan sebagai profil sudu. Pada kajian ini profil sudu yang digunakan tetap berbasis pada NACA0020, namun diberi bidang wavy dan vortex genertor serta panjang profil sudunya dioptimasi. Kajian tersebut didukung dengan penggunaan perangkat lunak CFD-Numeca dan Matlab. Panjang chord dan torsi mekanik setiap desain profil sudu yang diperoleh dari simulasi, dicatat untuk kemudian dicurvefitting untuk penentuan torsi mekanik paling maksimal.

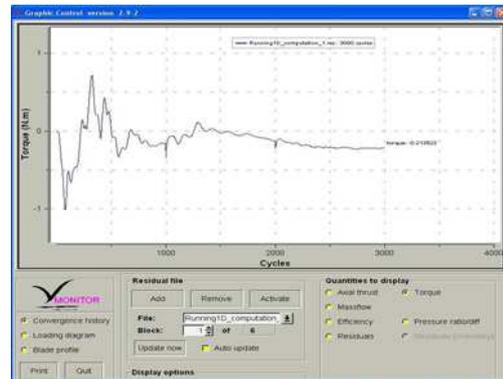
Pada penelitian ini, akan dibahas hasil kajian pada ukuran model. Penentuan panjang chord sudu TASV, dilakukan dengan menetapkan 5 rancangan panjang chord, yaitu 120, 150, 180, 210, dan 240 [mm] dengan menggunakan perangkat lunak Catia. Penetapan 5 rancangan tersebut didasarkan pada 2 kali panjang chord profil sudu sebelumnya, yaitu 120 mm. Rancangan profil sudu dengan panjang tertentu tersebut kemudian file-nya diimport ke dalam format .stl, untuk dapat disimulasikan satu persatu pada perangkat lunak CFD-Numeca. Hasil simulasi tersebut kemudian di curvefitting menggunakan perangkat lunak Matlab, untuk menentukan torsi mekanik terbesar dari sebaran panjang chord sudu.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pada perangkat lunak CFD-Numeca, memberikan hasil nilai torsi teoritik dari setiap rancangan dengan panjang chord profil sudu yang berbeda. Nilai torsi teoritik pada panjang chord tertentu diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil proses curvefitting dengan menggunakan perangkat lunak Numeca diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil meshing dengan CFD-NUMECA

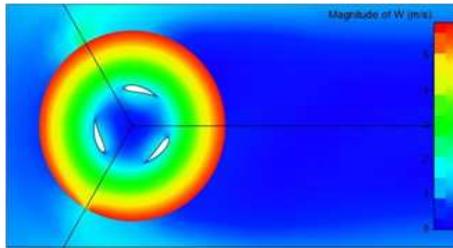


Gambar 6. Grafik control torsi

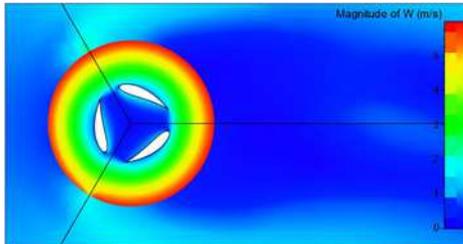
Tabel 1. Hasil simulasi CFD-Numeca

Chord length (mm)	Torque Value (Nm)
120	0.017284
135	0.017654
140	0.017984
150	0.017284
180	0.018179
190	0.019848
195.4	0.020170
200	0.020008
210	0.018551
240	0.017574

Contoh pola aliran hasil simulasi CFD-Numeca diperlihatkan pada Gambar 7.



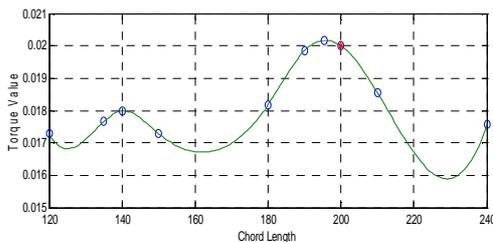
a. Pola aliran pada chord 120mm



b. Pola aliran pada chord 240mm

Gambar 7. Pola Aliran Air disekitar Turbin Gorlov

Hasil curvefitting pada perangkat lunak Matlab diperlihatkan pada Gambar 8.



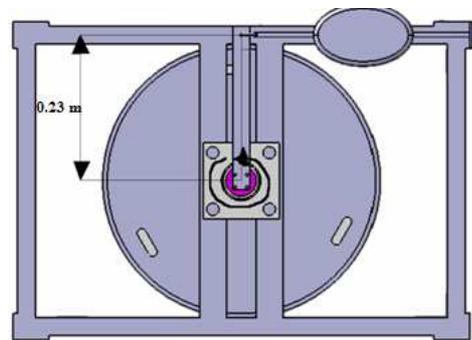
Gambar 8. Kurva hasil penentuan chord dan torsi pada Matlab

Kaji eksperimental dilakukan pada model uji dengan panjang chord 180 mm, karena alasan waktu produksi dan hasil simulasi yang tidak tepat. Seharusnya model uji dibuat dengan panjang chord yang dihasilkan dari simulasi CFD-Numeca, sebesar 195,4 mm. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan waktu untuk melakukan kaji simulasi, sedangkan proses produksi harus segera dilakukan. Proses kaji eksperimental yang dilakukan pada aliran sungai dekat Polban diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Proses menghitung kecepatan sudut dengan Tachometer

Pada pengujian yang dilakukan pada tahun sebelumnya diperoleh putaran turbin 157 rpm, dan torsi mekanik yang dihasilkan adalah 7.28×10^{-1} N/m, dengan kecepatan fluida 1,2 m/s. Pada pengujian model TASV dengan profil sudu yang mengakomodir permukaan wavy dan adanya vortex generator dihasilkan torsi mekanik sebesar 4.28×10^{-1} Nm, pada kecepatan air sebesar 0,81 m/s. Apabila kondisi ideal berlaku, bahwa kecepatan air akan berkontribusi pada daya yang dihasilkan dengan pangkat 3, maka torsi mekanik yang terjadi pada kecepatan 1,2 m/s adalah 3,25 kali. Jadi torsi mekanik yang terjadi adalah 13,92 Nm. Kondisi ini sesuai dengan hasil simulasi Numeca, bahwa optimasi panjang chord telah memberikan hasil untuk memaksimalkan torsi mekanik yang terjadi.



Gambar 10. Prinsip kerja alat ukur torsi

1.KESIMPULAN

Mengacu pada hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan untuk menentukan panjang chord profil sudu telah berhasil memberikan peningkatan torsi mekanik. Hasil numerik memberikan hasil pada panjang 195.4 mm akan menghasilkan torsi mekanik yang paling maksimal, dimana hal tersebut masih dalam proses pembuatan prototipenya. Hasil Numerik dengan panjang chord 180 mm akan memberikan hasil torsi mekanik 1.06 kali dibandingkan menggunakan panjang chord 120 mm. Nilai tersebut akan dijustifikasi kembali dengan hasil pengujian yang baru dan dengan panjang chord yang baru.

NUMENCLATURE

- C : Koefisien hidrodinamik
- G : Gaya hidrodinamik
- r : jari-jari turbin air
- q : Tekanan dinamik
- S : Bidang angkat
- T : Torsi mekanik turbin

γ : Sudut pemasangan sudu
 α : Sudut serang
 θ : Sudut pemasangan

Subscript.

f : tangensial
l : angkat, lift
d : hambat, drag
s : tangensial

DAFTAR PUSTAKA

1. Ajao, K.R., et.al., "Comparison of Theoretical and Experimental Power output of a Small 3-bladed Horizontal-axis Wind Turbine", *Journal of American Science* 2009;5(4):79-90
2. C.R. McLean, *Computer-Aided Manufacturing System Engineering*, Factory Automation Systems Division, Manufacturing Engineering

Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA

3. C. Wauquier, "Shape Optimization of Low Speed Airfoils using MATLAB and Automatic Differentiation", Licentiate's Thesis, Royal Institute of Technology Department of Numerical Analysis and Computing Science, Stockholm 2000
4. "Study of Tidal Energy Technologies for Derby", Presentasi paper, Hydro Tasmania, December 2001.
5. Jeronimo ZANETTE, Didier IMBAULT, Ali TOURABI, "FLUID-STRUCTURE INTERACTION AND DESIGN OF WATER CURRENT TURBINES", 2nd IAHR International Meeting of the Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems Timisoara, Romania October 24 - 26, 2007.