

Karakterisasi Gaya Hambat Pada Pembangkit Energi Alternatif Helical Turbin

Carolus Bintoro¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
Indonesia
E-mail: bintoroc@yahoo.com

Abstrak

Tulisan ini membahas kajian mengenai pengaruh gaya hambat pada turbin heliks tiga bilah yang diuji pada aliran irigasi jatiluhur pada akhir tahun 2011. Turbin ini dirancang dengan nilai soliditas yang tinggi, dengan harapan untuk mendapatkan nilai torsi yang maksimal melalui peningkatan chord. Optimasi peningkatan chord diperoleh melalui kajian 2-D turbin heliks tiga sudu pada perangkat lunak CFD-Numeca. Pada kajian tersebut diperoleh nilai panjang chord yang ideal adalah 457 mm. Turbin dibuat dengan menggunakan teknologi material komposit, dimana fasilitas untuk manufakturnya ada di Politeknik Negeri Bandung. Pada sisi atas dan sisi bawah dari turbinditutup dengan harapan dapat diperoleh aliran 2-D, dimana analisisnya lebih mudah. Pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil yang sedikit mengecewakan dimana gaya hambat yang dihasilkan cukup tinggi sehingga penempatannya pada posisi yang diharapkan memerlukan effort yang tinggi. Hal lain yang diperoleh adalah aliran air yang didepan turbin juga terhambat terbukti dari hasil pengukuran yaitu dari 1,6 m/s agak jauh dari turbin dan pada turbin menjadi hanya 0,9 m/s. Penurunan kecepatan ini menyebabkan daya yang dihasilkan turbin tidak terlalu signifikan. Optimasi turbin sumbu vertikal model heliks tiga sudu perlu mengkaji semua nilai dan berkompromi untuk memberikan hasil yang menarik.

Kata kunci: Gaya hambat, Turbin heliks 3 bilah, Chord, Perangkat lunak CFD Numeca

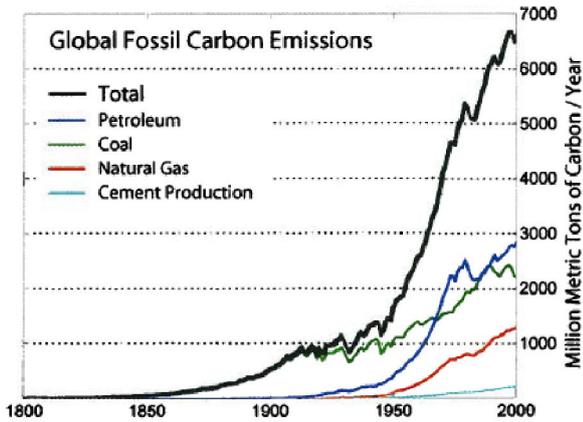
1. PENDAHULUAN

Apabila mengamati perkembangan industri sejak revolusi industri sekitar satu abad yang lalu, maka dapat disimpulkan bahwa perkembangan industri tersebut telah memberikan dampak yang sangat luar biasa pada aspek kehidupan manusia. Pada masa itu, salah satu faktor utama yang menentukan kemajuan industri dan teknologi suatu negara adalah akses pada sumber daya alam seperti mineral dan sumber daya energi, termasuk sumber daya manusia. Di abad terakhir ini, energi telah memainkan peranan kunci dalam menjalin hubungan International dan ekonomi. Selain taraf kehidupan manusia yang mengalami banyak perbaikan, namun efek samping pembangunan menjadi tantangan utama. Tantangan tersebut diantaranya adalah, lingkungan, sosial, masalah politik, dan ekonomi, selain itu pemanasan global, gas rumah kaca, polusi, konflik politik, dan militer [1]. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengembangkan energi alternatif yang bersumber pada energi terbarukan yang saat ini diyakini tidak memberikan banyak efek samping.

Protokol Kyoto adalah salah satu produk yang mendorong penggunaan energi terbarukan pada banyak negara, oleh karena telah dijadikan konvensi PBB untuk menghadapi perubahan iklim oleh karena adanya pemanasan global. Protokol Kyoto tersebut, digunakan untuk mendesak pemerintah mengurangi emisi gas rumah kaca, yang pada tahun 2006 telah ditanda tangani oleh 169 negara, dan Gambar 1 memperlihatkan peningkatan emisi karbon pada dua abad ini. Dapat diamati pada gambar tersebut bahwa peningkatan emisi karbon memenuhi fungsi eksponensial.

Energi terbarukan adalah energi yang memberikan dampak lingkungan minimal, dimana metode untuk mengekstraksinya dapat digunakan berbagai cara, salah satunya adalah turbin. Energi terbarukan telah populer dalam berberapa dekade terakhir dan telah menyerap dana investasi hingga miliaran dollar, terkait dengan aktivitas penelitian dan pengembangannya. Energi terbarukan yang dianggap utama yaitu diantaranya, energi *geothermal*, *biofull* dan *biomass*, hidropower, *fuel cell*, *solar energi*, *wind energi*, *ocean energi* (*wave*, *tidal*, dan *thermal*). Diantara jenis energi terbarukan, panas bumi, *biomass*, dan pembangkit

listrik tenaga air yang banyak digunakan karena teknologinya telah hampir final. Energi laut juga merupakan salah satu bentuk yang paling populer dan merupakan energi terbarukan yang dapat diandalkan. Jenis energi ini dikelompokkan menjadi dua bagian utama, yaitu energi gelombang dan energi pasang surut [1].



Gambar 1. Peningkatan emisi carbon secara global [1]

Pemanfaatan tidal energy, *marine current energy* dan *wind energy* pada prinsipnya menggunakan teknologi yang serupa [2], yaitu turbin air. Hal tersebut karena keduanya mengkonversikan energi yang mengalir di sekitar sudu turbin menjadi energi mekanik. Dengan demikian proses perancangan sudu turbin didekati dengan metode teknik Aerodinamika, yaitu dengan menggantikan densitas fluidanya dari angin menjadi air. Walaupun kecepatan aliran air sungai/ laut memiliki kecepatan yang lebih rendah dari angin, namun demikian karena densitasnya jauh lebih besar yaitu sekitar 850 kali dari densitas udara maka teknologi tidal energy menjadi sangat menarik. Pemilihan *airfoil* atau profil sudu turbin pada aplikasi industrial merupakan aspek yang paling sulit dan sering terjadi kesalahan, sehingga merupakan *point* yang rawan [3].

Energi tidal adalah hasil dari interaksi antara gravitasi matahari dan bulan yang terjadi pada permukaan bumi [4]. Kondisi *periodic* dari fenomena tersebut telah lama dikenal sebagai sumber tenaga alternatif yang potensial. Sekitar setengah abad yang lalu, telah tumbuh minat yang tinggi untuk memanfaatkan energi tidal tersebut. Saat ini konversi energi aliran fluida dapat dilakukan dengan menggunakan turbin dengan sumbu vertikal atau horizontal. Apabila sumbu putar (poros) tegak lurus terhadap arah aliran, dikenal sebagai *Cross Flow Water Turbin (CFWT)* [5], yang dalam tulisan ini disebut dengan Turbin Air Sumbu Vertikal (TASV). Tulisan ini merupakan kajian terhadap perkembangan penelitian yang diarahkan pada proses “Rancang

Bangun Turbin Air Gorlov dan Justifikasi Penerapannya untuk Kecukupan Energi Bangsa”. Kajian dilakukan dengan melakukan simulasi aliran fluida pada perangkat lunak CFD-Numeca, yang merupakan pengembangan dari hasil kaji eksperimental pada aliran irigasi Jatiluhur. Jadi kajian ini merupakan analisis komputasional hasil kaji eksperimental untuk menentukan hubungan gaya hambat TASV dengan daya yang dihasilkan.

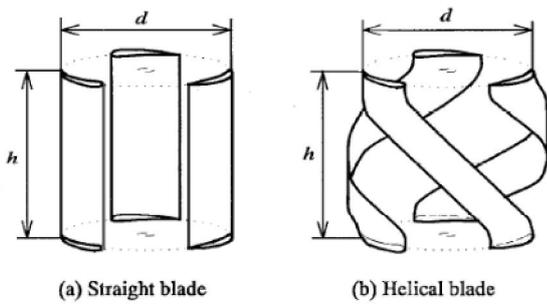
2. PEMODELAN SISTEM

Penyelesaian kajian ini dilakukan melalui kaji komputasional pada perangkat lunak Numeca. Kajian diarahkan untuk mengobservasi vektor gaya hambat (*drag*) yang terjadi pada kecepatan fluida dan sudut pemasangan sudu tertentu. Melalui penggambaran kurva hasil nilai komputasional maka dapat ditentukan hubungannya sehingga dapat diketahui bagaimana meningkatkan kinerja TASV. Nilai tersebut juga sangat penting dalam proses pembuatan produk (fabrikasi), berupa sudut pemasangan sudu turbin yang ideal.

Penelitian yang dikembangkan adalah mensimulasikan pola aliran fluida disekitar profil sudu TASV, dan mengamati distribusi kecepatan yang terjadi serta menentukan nilai gaya hambatnya. Hal lain yang diamati adalah penentuan hubungan penurunan kecepatan aliran fluida dengan parameter meningkatnya *drag* dari TASV. Dengan demikian dapat disampaikan bahwa data yang diperoleh adalah data-data hasil kaji komputasional yang dikombinasikan dengan data pengujian, yaitu adanya penurunan kecepatan dari 1,6 m/s menjadi sekitar 0,9 m/s.

Pengumpulan data hasil penelitian ditentukan berdasarkan simulasi pada sudut pemasangan dan besar kecepatan aliran bebas tertentu. Kedua parameter tersebut menjadi parameter utama dari model bilah turbin tertentu, yang diyakini akan menghasilkan torsi maksimal. Berdasarkan pada hasil simulasi menggunakan CFD-Numeca, maka dapat diketahui ataupun dihitung besarnya total gaya hambat yang bekerja pada profil sudu turbin. Hal lain yang dapat ditentukan dari simulasi ini adalah distribusi kecepatan fluida disekitar profil bilah turbin serta titik pelepasan alirannya.

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, sudu turbin lurus Darrieus yang disusun dengan interval yang sama disekitar sumbu pusat. Karena TASV adalah turbin air jenis lift dan berputar kearah yang tetap sama tanpa terpengaruh arah aliran, sehingga dianggap tepat untuk digunakan pada jenis pasang surut, dimana arah arus seringkali berubah dalam periode waktu tertentu.



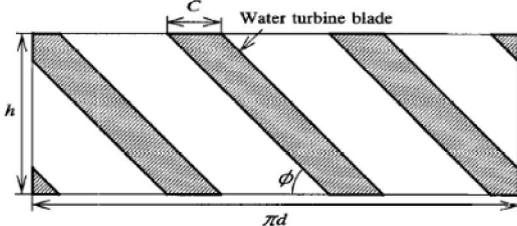
Gambar 2. Bentuk bilah turbin air

Dalam paper ini, solidity adalah nilai yang secara signifikan mempengaruhi kinerja turbin air dan dinyatakan pada pers. (1) menggunakan variabel-variabel berikut : panjang chord sudu C , jumlah bilah n dan diameter turbin air d .

$$\sigma = \frac{nC}{\pi D} \dots\dots\dots (1)$$

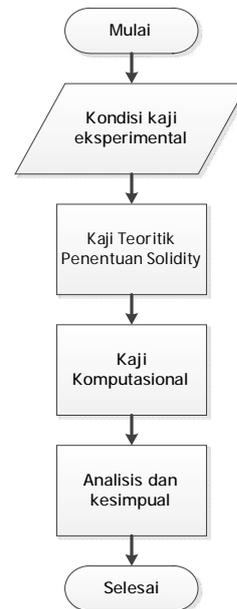
Di sisi lain, sudu heliks turbin air model Darrieus, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, adalah turbin air spiral yang dibuat dengan membuat permukaan atas dan bawah dari sebuah sudu turbin air lurus berputar di sekitar poros tengahnya. Gambar 2 menunjukkan sketsa dari perkembangan saat ini menjadi turbin air sudu heliks. Sudut kemiringan sudu pada permukaan bawah dan atas dari turbin air didefinisikan sebagai ϕ , dan pers. (2) menyatakan nilainya.

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{nh}{\pi d} \right) \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 3. Sketsa yang dikembangkan pada turbin air dengan sudu helical

Sebagaimana telah disampaikan diatas, bahwa sasaran penelitian ini adalah untuk menentukan hubungan antara gaya hambat drag dan daya yang dihasilkan dari TASV yang digunakan. Kajian dilakukan melalui simulasi mekanik untuk menjustifikasi gaya drag yang ditimbulkan pada saat pengujian. Diagram alir kaji komputasional diperlihatkan pada Gambar 3, dimana kajian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak CFD-Numeca.



Gambar 3. Diagram alir pelaksanaan penelitian

3. HASIL PENGUKURAN DAN DISKUSI

Review hasil kaji eksperimental pada aliran irigasi Jatiluhur, dilakukan melalui kaji teoritik dan simulasi komputasional pada perangkat lunak CFD-Numeca. TASV yang digunakan pada kaji eksperimental adalah turbin air dengan geometri profil sudu yang telah disimulasikan pada perangkat lunak tersebut. Gambar 4, memperlihatkan hasil proses pengujian hingga diperoleh hasil listrik yang dapat menyalakan lampu.



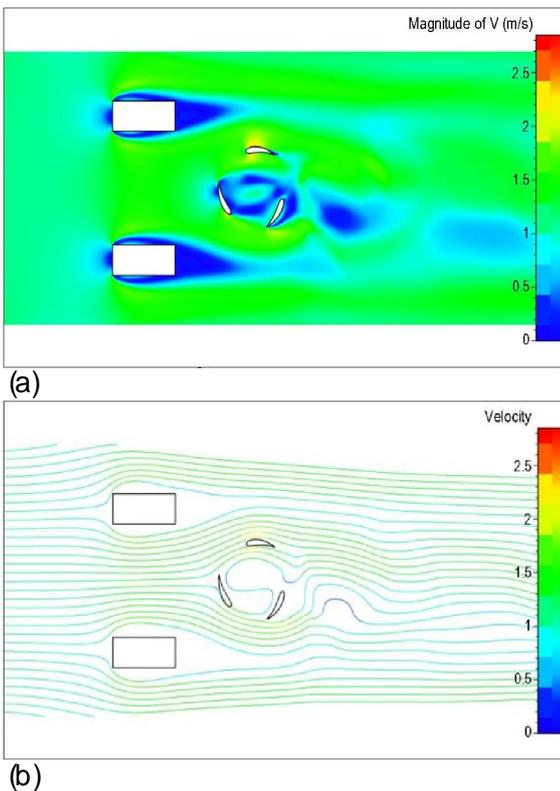
SDM untuk penempatan TASV



Listrik telah dihasilkan

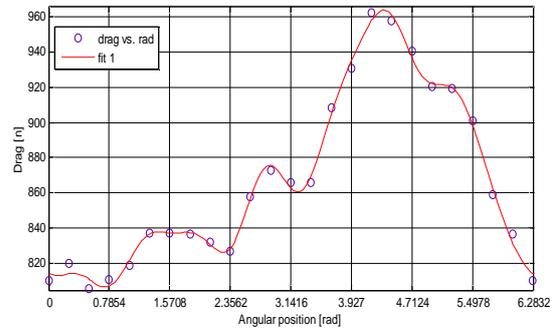
Gambar 4. Proses kaji eksperimental dan hasilnya

Pengujian yang dilakukan sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4, hanya ditujukan untuk menghasilkan listrik dan penentuan kendala-kendala yang dihadapi. Oleh karena itu, pada pengujian lapangan dua buah prototipe, diperoleh kendala utama yaitu 1) kecilnya daya yang dibangkitkan dibandingkan rancangan, dan 2) besarnya gaya drag yang ditimbulkan. Mengenai kecilnya daya yang dibangkitkan, kemungkinan besar terjadi oleh karena putaran yang rendah atau generator yang tidak ideal. Hal lain yang diamati adalah terjadinya penurunan kecepatan aliran air ketika mendekati TASV, yaitu dari 1,6 m/s jauh di depan turbin menjadi 0,9 m/s ketika mendekatnya. Berdasarkan pada hasil komputasional maka berbagai posisi bilah turbin sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5, dapat disampaikan bahwa penurunan kecepatan hanya terjadi di atas bidang bilah TASV. Jadi kemungkinan besar hal itulah yang dapat menjelaskan mengenai hasil kaji lapangan yang dilaporakan.



Gambar 5. Pola aliran di sekitar TASV

Kajian juga dilakukan dengan mengamati hubungan nilai drag dan daya yang dihasilkan oleh TASV pada kecepatan aliran yang diasumsikan. Kurva dibangun dari hasil simulasi yang dikembangkan dari model 2D pada CFD-Numeca. Hasil kajian diperlihatkan pada Gambar 6.



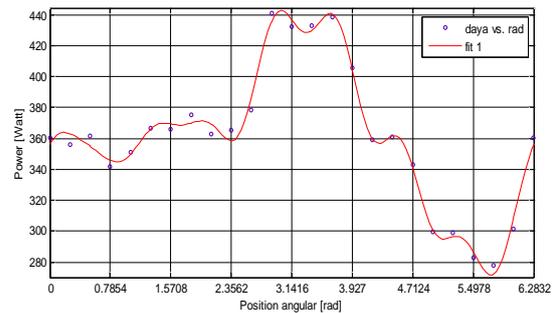
Gambar 6. Hubungan drag dengan posisi angular TASV

Kurva di atas didekati dengan pers. Deret Fourier berikut:

$$y = a_0 + \sum_{n=1}^8 a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^8 b_n \sin(n\omega t)$$

dengan konstanta sebagai berikut,

$a_0 = 868$	$b_1 = -57.32$
$a_1 = -24.82$	$b_2 = 3.956$
$a_2 = -24.04$	$b_3 = 0.02059$
$a_3 = -0.1498$	$b_4 = -6.66$
$a_4 = -2.237$	$b_5 = 10.11$
$a_5 = -1.515$	$b_6 = 0.0009554$
$a_6 = -0.1651$	$b_7 = 2.427$
$a_7 = 2.282$	$b_8 = -2.019$
$a_8 = -2.937$	$= 0.9992$



Gambar 7. Hubungan daya dengan posisi angular TASV

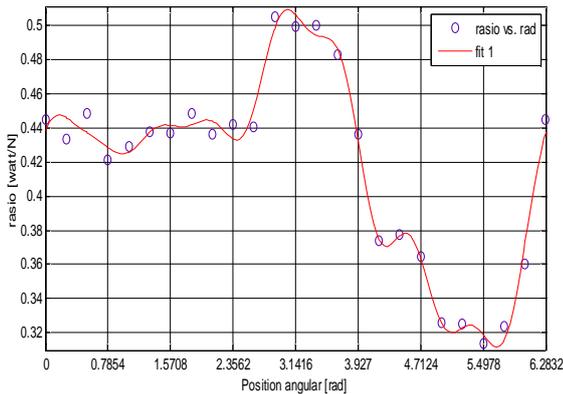
Kurva daya tersebut juga didekati dengan pers. Deret Fourier berikut:

$$y = a_0 + \sum_{n=1}^8 a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^8 b_n \sin(n\omega t)$$

dengan konstanta sebagai berikut,

$a_0 = 361$	$b_1 = 16.26$
$a_1 = 20.46$	$b_2 = 25.93$
$a_2 = -24.04$	$b_3 = -0.05589$
$a_3 = 0.2817$	$b_4 = 5.893$
$a_4 = 13.66$	$b_5 = 4.397$

$$\begin{aligned}
 a_5 &= 2.52 & b_6 &= -0.05953 \\
 a_6 &= 0.2354 & b_7 &= 6.357 \\
 a_7 &= 6.012 & b_8 &= -7.522 \\
 a_8 &= 1.131 & &= 0.9988
 \end{aligned}$$



Gambar 8. Hubungan rasio daya terhadap drag sesuai posisi angular TASV

Kurva rasio daya terhadap gaya hambat (*drag*) tersebut juga didekati dengan pers. Deret Fourier berikut:

$$y = a_0 + \sum_{n=1}^8 a_n \cos(n\omega t) + \sum_{n=1}^8 b_n \sin(n\omega t)$$

dengan konstanta sebagai berikut,

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0.4172 & b_1 &= 0.04517 \\
 a_1 &= -0.04343 & b_2 &= 0.02704 \\
 a_2 &= 0.03376 & b_3 &= 0.001251 \\
 a_3 &= 0.0002353 & b_4 &= 0.01001 \\
 a_4 &= 0.01736 & b_5 &= 0.0007195 \\
 a_5 &= 0.003292 & b_6 &= 0.0004725 \\
 a_6 &= 0.00127 & b_7 &= 0.005353 \\
 a_7 &= 0.006064 & b_8 &= -0.007566 \\
 a_8 &= 0.00256 & &= 0.998
 \end{aligned}$$

Mengkaji masalah soliditas turbin, maka dapat ditentukan nilainya untuk TASV yang diuji sesuai dengan pers. (1), maka diperoleh hasil 42.97% .

$$\sigma = \frac{3 * 45}{\pi * 100} * 100\% = 42,97 \%$$

Memperhatikan hasil tersebut maka dapat dicurigai bahwa nilai tersebut cukup tinggi yang kemungkinan menjadi penyebab tingginya nilai gaya hambat yang dihasilkan. Namun apabila mengamati dalam proses pembentukan momen torsi yang tergantung pada drag dan lift, maka seharusnya nilai daya yang dihasilkan juga

meningkat. Namun, apabila mengamati dari kurva simulasi yang ditunjukkan (Gambar 6, 7 dan 8) maka dapat diamati bahwa gaya hambat tertinggi tidak sesuai dengan saatnya dengan gaya maksimal.

4. KESIMPULAN

Memperhatikan hasil simulasi CFD Numeca, maka dapat disimpulkan bahwa kajian harus dilakukan lebih mendetail, selain mengamati pengaruh drag harus pula dilihat pengaruh gaya lift. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah nilai soliditas yang lebih tinggi dari yang umum dilakukan perlu diperhatikan. Namun perlu pula memperhatikan konstruksimekanik, apakah tidak ada misaligmen yang terjadi yang akan meningkatkan gaya hambat TASV, bukan karena profilnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Yasser Nabavi, Numerical Study of the Duct Shape Effect on the Performance of a Ducted Vertical Axis Tidal Turbine, Master Thesis of Applied Science, The University of British Columbia, 2008
2. Khan, J., River Current Turbine: Modeling and System Design, Faculty of Engineering & Applied Science, MUN, St John's, NL A1B 3X5, December 2004.
3. James L. Tangler, The Evolution of Rotor and Blade Design, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, CO 80401
4. George Hageman, Brian Polagye, EPR I – TP – 001 NA Rev 3, EPR I North American Tidal In Stream Power Feasibility Demonstration Project, September 29, 2006
5. Pádraig Cantillon-Murphy, Harvesting the Ocean's Energy : An evaluation of current trends in tidal and wave energy conversion, Massachusetts Institute of Technology, Term Paper: "Sustainable Energy" 10.391J/22.811J/ESD.166J/11.371J/1.818J/2.65J/3.564J, April 28, 2005.