

PREDIKSI TORSI TEORITIK TURBIN AIR SUMBU VERTIKAL DENGAN PROFIL WAVY PADA DAERAH 0,25 CHORDNYA

Carolus Bintoro

Staff Pengajar Program Studi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung 40162
Telp: (022) 2013789 ext.267, Fax: (022) 2013889

Abstrak

Tulisan ini membahas mengenai usaha yang dilakukan dalam penentuan torsi teoritik sebuah turbin dengan bilah yang telah di-*twist* dan *wavy* pada daerah 0,25 *chord*nya. Titik tersebut adalah tempat dimana gaya aerodinamika bekerja oleh karena adanya interaksi aliran. Hal tersebut penting dalam kaitan untuk menjustifikasi usaha peningkatan torsi melalui peningkatan karakteristik aerodinamika profil sudu turbin air sumbu vertikal (TASV) di Jurusan Teknik Mesin Polban. Kajian dilakukan melalui kaji komputasional dengan memanfaatkan perangkat lunak Matlab dan CFD Numeca. Kajian didahului dengan mengamati sebuah bilah TASV yang dipotong menjadi beberapa buah. Karakteristik aerodinamika yang diperoleh melalui simulasi dengan menggunakan perangkat lunak Numecayang digunakan dalam penentuan torsi dan daya teoritik. Nilai yang diperoleh kemudian difungsikan untuk dapat menentukan nilainya pada sembarang sudut yang didekati melalui *curvefit* menggunakan fungsi *spline*. Fungsi tersebut kemudian digunakan untuk menentukan torsi teoritik elemen, yang kemudian dapat diintegrasikan menyeluruh baik untuk tingkat sudu maupun TASV. Kaji CFD Numeca memberikan hasil koefisien aerodinamika C_l dan C_d untuk berbagai posisi angular dari bilah TASV. Pemanfaatan nilai tersebut dengan menggunakan pemrograman sederhana maka dapat diperoleh nilai torsi teoritik TASV. Nilai tersebut perlu untuk dijustifikasi melalui kaji eksperimental, sehingga dapat diketahui kemungkinan kesalahan yang diperoleh ataupun perbaikan lebih jauh.

Kata kunci: *Airfoil wavy, CFD Numeca, Matlab, koefisien aerodinamika*

I PENDAHULUAN

Peningkatan tekanan masyarakat akan peran serta sumber energi terbarukan dalam kebijakan energi masa depan semakin kuat, baik yang bersifat nasional maupun International. Proses rancang bangun TASV di Polban dilakukan untuk merespons tuntutan tersebut dan ikut serta dalam jajaran penelitian energi alternatif dalam bidang turbin air sumbu vertikal. Penentuan torsi teoritik pada sudu model Darrieus yang di-*twist* serta penambahan dispositif khusus pada permukaan penampang sudunya menjadi topik penelitian yang cukup memotivasi. Kajian tersebut menjadi menarik, karena peneliti tidak perlu untuk melakukan kaji komputasional CFD dalam tiga dimensi namun cukup menggunakan hasil dua dimensi.

Banyak peneliti dalam merespons krisis minyak bumi yang terjadi, dengan berusaha untuk mencari sumber energi alternatif. Banyak *tools* dan perangkat yang harus dikembangkan untuk berlomba dengan peneliti lainnya dalam memecahkan masalah krisis energi tersebut.

Mengenai penambahan dispositif khusus pada penampang sudu TASV, belum dikaji oleh peneliti lain.

Banyak negara berlomba untuk mencari energi alternatif terutama setelah harga minyak bumi meningkat secara signifikan terutama dengan memanfaatkan energi terbarukan. Diantara sumber energi terbarukan tersebut, energi aliran air merupakan yang memiliki prospek paling baik terutama untuk wilayah Indonesia. Hal tersebut disebabkan panjang garis pantai serta aliran sungai banyak ditemui di Indonesia.

Di Indonesia terdapat banyak sekali sumber energi aliran air, diantaranya aliran sungai dan aliran selat maupun laut. Hasil perhitungan yang dilakukan oleh Departemen Industri dan Perdagangan Inggris, menyimpulkan bahwa arus laut global berpotensi membangkitkan listrik hingga 3000 gigawatt (lebih dari dua kali kebutuhan puncak energi dunia saat ini) [1]. Potensi energi tersebut telah menarik banyak pihak termasuk peneliti Indonesia dan POLBAN, untuk mengembangkan TASV. Rancangan TASV yang sedang dalam

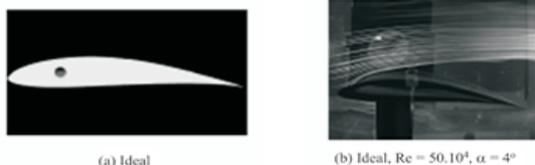
pengembangan di Jurusan Teknik Mesin (JTM) Polban, diperlihatkan pada Gambar 1.

Penelitian yang dikembangkan ini diharapkan dapat membantu dalam penentuan torsi teoritik berdasarkan pada nilai *lift* dan *drag* oleh karena interaksi bilah TASV dengan aliran fluida disekitarnya. Proses konversi energi aliran air menjadi energi listrik memerlukan alat pengubah, dalam hal ini turbin dan generator. Turbin berputar oleh karena adanya *gayalift* dan *drag* tersebut yang bekerja pada bilah turbin. Nilai gaya tersebut terjadi berdasarkan pada interaksi keduanya, sehingga diperlukan penggunaan airfoil yang sesuai agar mendapatkan kinerja yang maksimal.

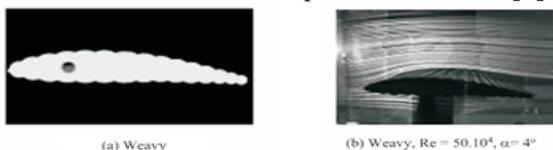


Gambar 1. TASV Polban

Wauquiez[2], melakukan kajian kondisi permukaan terhadap pelepasan aliran fluida diatas permukaan *airfoil*. Gambar 2 memperlihatkan model airfoil ideal dan pola aliran fluida diatasnya. Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa terjadi pelepasan aliran pada $Re = 5 \times 10^4$ dan sudut serang 4° , sedangkan pada Gambar 3 diperlihatkan relative terjagannya aliran fluida diatas permukaan airfoil bergelombang pada kondisi aliran yang sama.

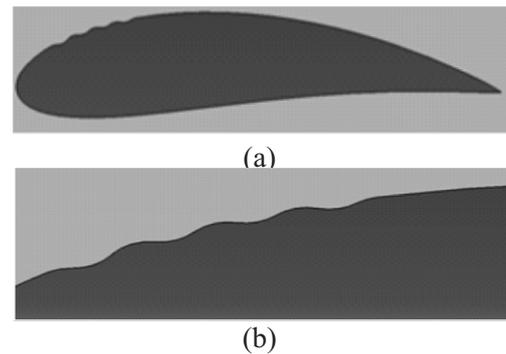


Gambar 2. Pola aliran pada airfoil ideal [2]



Gambar 3. Pola aliran pada airfoil bergelombang [2]

Penelitian yang dikembangkan di JTM Polban adalah menjustifikasi penambahan bidang gelombang pada $0,25 \text{ chord}$. Justifikasi didasarkan pada torsi teorik yang dihasilkan dibandingkan dengan tuntutan untuk menghasilkan daya teoritik TASV $> 2 \text{ kW}$. Gambar 4 memperlihatkan sudu hasil rancangan airfoil dengan *wavy* pada $0,25 \text{ chord}$ nya. Penentuan torsi secara numerik dengan memanfaatkan program sederhana pada perangkat lunak Matlab serta CFD Numeca.



Gambar 4. Model airfoil yang digunakan

Penelitian tersebut diatas (penggunaan *wavy*) belum diaplikasikan pada peruntukan khusus seperti pada TASV. Pada kajian yang telah dikembangkan baru pada observasi pola aliran teoritik disekitar airfoil. Pada Gambar 3 dapat diamati bahwa bentuk permukaan *airfoil* telah mengubah pola aliran disekitar *airfoil*. Hal tersebut diyakini akan meningkatkan nilai karakteristik aerodinamik airfoil seperti pada Gambar 4.

Penelitian yang dikembangkan ini adalah untuk menjustifikasi rancangan profil sudu TASV untuk dapat menghasilkan daya melebihi 2kW. Kaji teoritik ini dilakukan untuk menghindari pekerjaan *trial and error* yang umum dilakukan melalui kaji eksperimental. Perangkat lunak Matlab dipilih karena umum digunakan dalam kajian engineering.

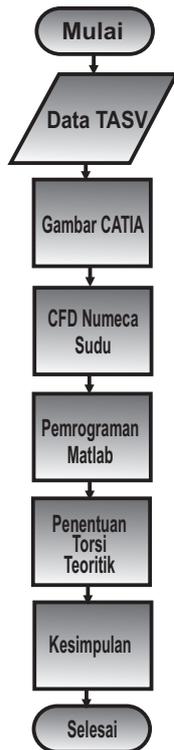
II METODE PENELITIAN

Permasalahan yang ada tersebut diselesaikan melalui pengamatan potongan melintang sudu TASV, dan dengan pendesainan kembali pada perangkat lunak Catia profil yang lebih sempurna. Potongan pada bilah TASV dan penyempurnaan atau penambahan *wavy* pada $0,25 \text{ chord}$ nya diduga dapat menyempurnakan aliran sebagaimana diperlihatkan pada Gambar

3. Potongan bilah TASV tersebut yang akan dikaji dan diamati nilai torsi dan daya turbin yang dihasilkannya.

Sasaran pengamatan tersebut adalah untuk melihat, apakah pendekatan pemotongan pada bilah sebagai pendekatan tersebut dapat dilakukan. Selanjutnya, metodologi penelitian yang dilakukan dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.

Data torsi paling ideal ditentukan melalui perubahan nilai masukan seperti kecepatan air dan sudut pemasangan secara *trial and error* pada perangkat lunak. Dengan memasukkan data aktual kecepatan aliran alir dan kemungkinan kecepatan putaran yang diperoleh maka dapat ditentukan sudut serang dan torsi teoritik. Nilai-nilai tersebut cukup ideal untuk digunakan sebagai acuan dasar dalam penelitian TASV yang dikembangkan.



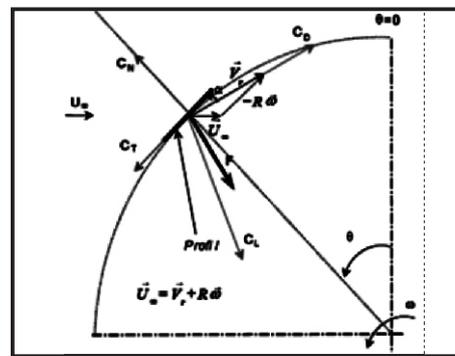
Gambar 5. Diagram alir proses kaji teoritik dan komputasional

Nilai torsi teoritik TASV dengan menggunakan profil gelombang pada 0,25 chordnya, sangat ditentukan oleh besarnya nilai karakteristik aerodinamik *airfoil*. Nilai tersebut dalam penelitian ini ditentukan dengan memanfaatkan

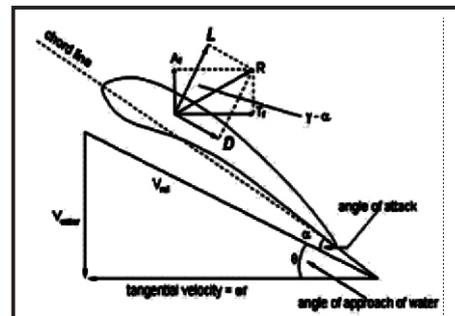
perangkat lunak Numeca. Kajian dilakukan untuk sudut serang dari nol hingga 360 derajat. Nilai yang diambil dan akan digunakan dalam perhitungan selanjutnya adalah C_l (*coefisien lift*) dan C_d (*coefisien drag*). Dengan menggunakan nilai tersebut dan memanfaatkan pers.(1) maka dapat ditentukan nilai torsi yang bekerja secara elementer. Proses integrasi numerik kemudian dikembangkan untuk mendapatkan torsi teoritik total. Pemrograman dilakukan berdasarkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

$$T_f = qS C_l \sin(\theta) - C_d \cos(\theta) \dots\dots\dots(1)$$

$$T = r.T_f = r.q.S C_l \sin(\theta) - C_d \cos(\theta) \dots\dots(2)$$



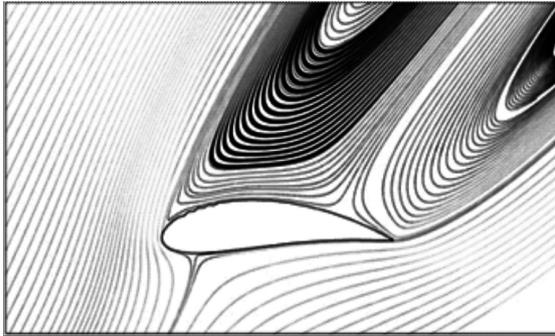
Gambar 6. Gaya-gaya pada sudu [3]



Gambar 7. Komponen gaya pada sudu [4]

III HASIL DAN PEMBAHASAN

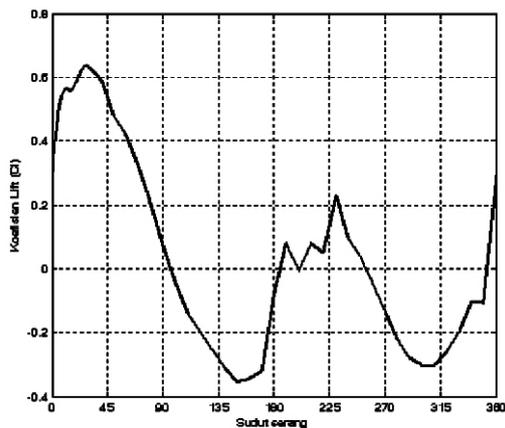
Karakteristik aerodinamik diperoleh dengan melakukan kaji numerik dengan menggunakan perangkat lunak CFD Numeca. Gambar 8, memperlihatkan pola aliran disekitar airfoil pada sudut serang yang ekstrim yaitu 50 derajat. Dapat diamati pada gambar tersebut bahwa pada nilai sudut tersebut telah membuat terjadinya separasi pada aliran fluida terhadap dinding airfoil.



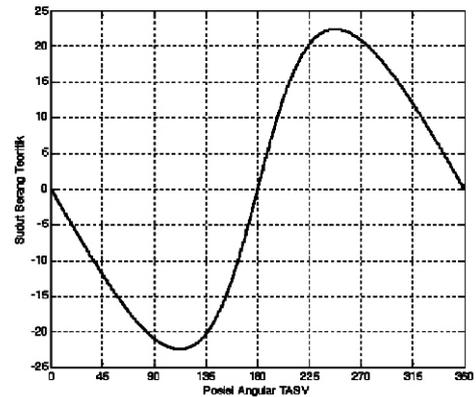
Gambar 8. Pola aliran pada sudut serang 50 derajat

Kaji komputasional diambil pada kondisi yang kemungkinan besar ditemui yaitu kecepatan aliran air 1.2 m/s yang menyebabkan TASV akan berputar pada 40 rpm. Kondisi tersebut menghasilkan sudut serang teoritik yang diperoleh pada putaran dari sudut 0 hingga 360 derajat sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9, dan dengan membuat fungsi spline maka akan dapat ditentukan nilainya pada setiap sudut.

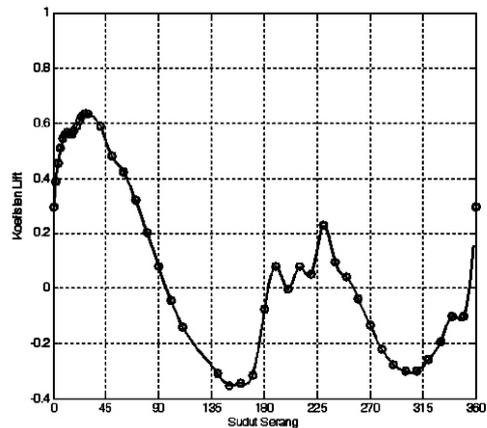
Gambar 10, memperlihatkan sudut serang yang sesungguhnya terjadi pada airfoil sudu TASV. Nilai tersebut ditentukan dengan menggunakan kaidah segitiga kecepatan disekitar sudu. Penggunaan perangkat lunak Matlab, memudahkan proses kajian melalui pembuatan program sederhana. Gambar 11 ada penggunaan fungsi *spline* pada penentuan nilai karakteristik aerodinamika



Gambar 9. Kurva koefisien lift airfoil dari 0 hingga 360 derajat

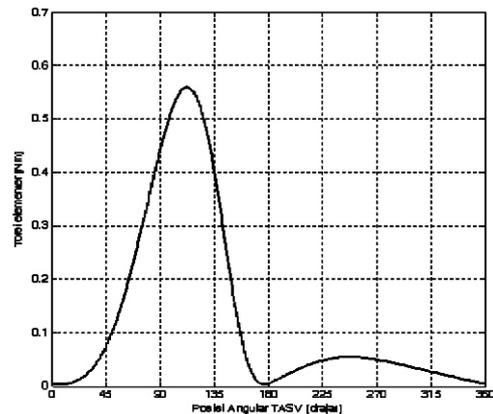


Gambar 10. Sudut serang teoritik pada kondisi lapangan



Gambar 11. Proses *spline* digunakan untuk penentuan nilai C_l dan C_d

Pada penelitian ini diperoleh nilai torsi elementer TASV maupun nilai torsi totalnya. Gambar 12 memperlihatkan nilai torsi elementer yang diperoleh dan nilai torsi totalnya adalah 389,56 Nm



Gambar 12. Nilai torsi elementer sudu TASV

Karakteristik aerodinamik airfoil sudu TASV dengan menggunakan dispositif wavy pada 0,25 *chord*nya menghasilkan karakteristik aerodinamik yang diperlihatkan pada Gambar 12. Dapat diamati pada Gambar tersebut bahwa penggunaan perangkat lunak Numeca dapat mensimulasikan sudut serang dari 0 hingga 360 derajat. Walaupun pada kenyataannya sudut serang yang terjadi antara 0 hingga 25 derajat. Nilai tersebut diperoleh dengan menggunakan kaidah perbandingan resultan kecepatan yang terjadi pada airfoil. Dengan menggunakan teori yang berlaku maka torsi dapat ditentukan.

IV KESIMPULAN

Dengan menggunakan teknik potongan pada bilah turbin, dan dengan mengetahui nilai karakteristik aerodinamikanya, maka nilai torsi teoritik dapat ditentukan dengan membuat pemrograman sederhana pada perangkat lunak Matlab.

Nilai karakteristik aerodinamika dua dimensi pada sudut serang dari 0 hingga 360° dapat ditentukan dengan menggunakan perangkat lunak Numeca. Kajian dilakukan dengan mengubah-ubah sudut serangnya dan menggunakan fungsi spline untuk mendapatkan fungsi yang lainnya.

Nilai kajian yang diperoleh sebesar 389,56 Nm adalah cukup besar, karena nilai tersebut diperoleh pada kecepatan putaran 40 rpm atau 4.19 rad/s. Dengan demikian turbin tersebut akan menghasilkan daya teoritik sebesar 1632 watt, suatu nilai yang cukup besar karena aplikasinya akan dilakukan dalam bentuk landang yang terdiri hingga 1000 turbin. Namun nilai tersebut belum dapat menjawab tuntutan masyarakat.

Teknik perhitungan ini yang dilakukan melalui karakteristik 2 dimensi cukup mudah dan cepat apabila diamati dari sisi kaji komputasionalnya. Hasilnya dapat dimanfaatkan dalam proses pendekatan untuk menjustifikasi nilai torsi dan daya teoritik yang diperoleh secara eksperimental

NUMENKLATUR

T	Torsi teoritis
Tf	Gaya tangensial
q	Tekanan dinamik
S	Bidang angkat
r	Jari-jadi sudu
Cl	Koefisien <i>lift</i>
Cd	Koefisien <i>drag</i>
	Sudut serang
	Sudut Pemasangan

DAFTAR PUSTAKA

1. Turbin Pembangkit Di Selat Bali : **Kunci dari krisis energi minyak. Menanti kebijakan insentif dari pemerintah**, Tempo, 7 Agustus 2005.
2. Christian Wauquiez, **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.
3. **Experiment to Test Vertical Axis Water-Turbines**, LEGI (Laboratoire Des Ecoulements Geophysiques Et Industriels), 20th of October 2004.
4. Vui-Hong Wong, **Finite Element Analysis and Improvement of Impeller Blade Geometry**, Master Thesis, Faculty of Engineering and Information Technology, Griffith University Gold Coast Campus, October 2002.