

Numerical Simulation of Airfoil Cascade for Axial Turbine Design

Nono Suprayetno^{1,3*}, Priyono Sutikno^{1,2}, Nathanael P. Tandian^{1,2} dan Firman Hartono¹

¹Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung

²Pusat Penelitian Energi Baru Terbarukan LPPM ITB

³Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

*Corresponding author: suprayetnonono@gmail.com

Abstract. Axial turbine is designed using a quasi three-dimensional method and be applied for hydro power. Blades can be designed and analyzed using software such as CFD. The present study aims to use Computational Fluid Dynamic to analyze aerodynamic loads in the airfoil cascade with pitch-chord ratio of 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0. Simulations were carried out on the NACA 0012 airfoil with stagger angle is 10°, a camber angle is 40° and various inlet velocity. Numerical simulations in this study were conducted in two dimensional using control volume on the airfoil. The results of the CFD simulation are then compared with a potential flow analysis using the vortex element method.

Abstrak. Turbin aksial didesain menggunakan metode kuasi tiga dimensi yang diaplikasikan pada aliran dan terjunan air. Segmen-segmen sudu dapat didesain dan dianalisis menggunakan beberapa perangkat lunak seperti CFD. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan perangkat lunak Computational Fluid Dynamic guna menganalisis gaya-gaya aerodinamika pada kaskade airfoil dengan rasio pitch-chord 0.5, 1.0, 1.5 dan 2.0. Simulasi dilakukan pada airfoil NACA 0012 dengan sudut stagger 10° dan sudut camber 40° dan variasi kecepatan masuk pada sisi inlet. Simulasi numerik pada penelitian ini dilakukan secara dua dimensi dengan membuat volume kontrol pada airfoil. Hasil simulasi CFD selanjutnya dibandingkan dengan analisa aliran potensial menggunakan metode elemen vorteks.

Kata kunci: kaskade, CFD, airfoil, rasio *pitch-chord*.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Ada banyak cara yang dapat dilakukan dalam mendesain turbin air aliran aksial, salah satunya adalah metode kuasi tiga dimensi. Salah satu aspek penting yang perlu dilakukan dalam desain kuasi tiga dimensi adalah analisis aliran kaskade. Tujuan analisis kaskade adalah untuk mengetahui gaya-gaya aerodinamika yang terjadi pada sudu turbin. Analisis kaskade dapat dilakukan menggunakan beberapa metode seperti CFD maupun metoda panel. Kedua metode tersebut, dapat memprediksi koefisien lift dan drag pada airfoil dan kaskade, dan akan digunakan serta dibandingkan dalam penelitian ini agar diperoleh *design tool* yang cepat dan akurat dalam proses desain.

Simulasi CFD dapat dilakukan secara non-viskos untuk menganalisis gaya aerodinamika pada kaskade aliran inkompresibel dan *irrational*. Untuk kaskade pada turbin, prediksi distribusi tekanan pada permukaan sudu dapat dilakukan dengan tepat sepanjang lebih 80% panjang *chord* airfoil, sedangkan pada pompa terjadi sedikit deviasi akibat kehilangan tekanan [2], namun nilai

minimum tekanan dapat diprediksi dengan benar. Analisis kaskade juga dapat dilakukan pada non profil seperti *circular arc* [3]. Lapisan batas pada permukaan profil diamati melalui hasil CFD dimana terjadi separasi gelembung pada area *Leading Edge* (LE) pada sudut insinden yang kecil. Separasi gelembung akan meningkat ketika sudut insinden dinaikkan dan membuat profil kehilangan tekanan.

Profil airfoil yang disimulasikan saat ini merupakan salah satu bagian dari 11 segmen airfoil yang akan membentuk sebuah sudu turbin aksial dari *hub* sampai *tip*. Ketebalan sudu yang bervariasi akan menyebabkan gangguan aliran meridional pada sudu yang cukup signifikan apalagi disertai dengan *twisting* pada sudu [4]. Selain itu, posisi sudu dalam annulus dapat mempengaruhi garis arus meridional dan distribusi kecepatan fluida.

Meskipun dunia komputasi berkembang dengan sangat pesat, namun dalam perencanaan mean line design, beberapa data empiris sering diperlukan sebagai masukan. Prediksi rugi-rugi menggunakan

CFD sering tidak akurat dan dalam beberapa kasus memerlukan keterampilan khusus dan pengalaman pengguna CFD untuk bisa memperkirakan *loss* yang terjadi pada model [5].

Sebagai pembanding simulasi CFD, digunakan analisis aliran potensial menggunakan metode panel vortisitas permukaan yang menggunakan metode panel vorteks Lewis. Biasanya teori vortisitas permukaan digunakan sebagai alat analisis, namun dapat dimodifikasi untuk keperluan lainnya. Lewis berhasil memodifikasi vortisitas permukaan menggunakan metode Martensen untuk desain *turbomachinery* pada aliran potensial dan inkompresibel dan menghasilkan distribusi kecepatan serta permukaan pada sebuah benda [6].

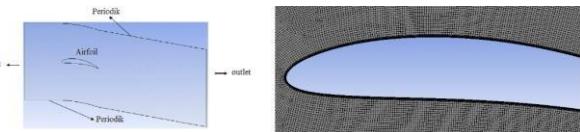
Penelitian ini bertujuan untuk mencari tool yang cepat dan akurat untuk desain sudu kaskade. Pada aliran potensial, metode elemen vorteks terlihat cukup baik untuk mengakomodasi gaya-gaya aerodinamika maupun tekanan yang terjadi pada permukaan airfoil [1]. Profil yang digunakan pada penelitian ini adalah NACA 0012 dengan sudut *stagger* -10° dan sudut *camber* 40° . Variasi dilakukan pada parameter kaskade berupa rasio *pitch* dan *chord* pada jarak 0.5, 1.0, 1.5, dan 2.0. Masing-masing model disimulasikan pada berbagai aliran masuk mulai dari 0° sampai 44° dengan interval 2° . Gaya-gaya aerodinamika yang diperoleh akan dipertimbangkan dalam proses desain turbin, dan distribusi tekanan yang dihasilkan dari CFD selanjutnya dibandingkan dengan analisis aliran potensial metode panel vorteks.

Metode Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sudu kaskade untuk turbin air aliran aksial dengan metode desain kuasi tiga dimensi dimana analisis kaskade menjadi salah satu bagian dalam proses desain. Analisis kaskade dapat dilakukan menggunakan beberapa metode seperti metode panel vorteks [7] dengan aliran potensial maupun menggunakan bantuan perangkat lunak CFD. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kaskade menggunakan bantuan perangkat lunak CFD dan dibandingkan dengan perangkat lunak Cascade. Perbedaan antara CFD yang digunakan dengan Cascade adalah pada viskositas aliran dimana Cascade merupakan solver dengan aliran potensial, sementara CFD diatur menggunakan aliran viskos dengan model turbulen k-omega SST.

Model k-omega SST dipilih karena memiliki dua persamaan dan terbukti cukup handal untuk memecahkan permasalahan aliran fluida dengan hasil yang cukup mendekati kondisi aliran nyata

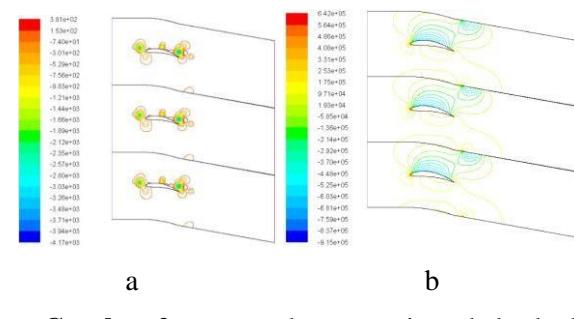
[8]. Simulasi dilakukan menggunakan analisis 2D secara periodik. Profil NACA 0012 dengan panjang *chord* 1 m, sudut *camber* 40° dan sudut *stagger* 10° dipilih untuk mewakili segmen-segmen yang akan membentuk sudu turbin. Ada empat model simulasi untuk profil NACA 0012 dengan variasi rasio *pitch-chord* 0.5, 1.0, 1.5 dan 2.0. Simulasi dilakukan dengan tiga variasi kecepatan masuk yaitu 10 m/s, 100 m/s dan 1000 m/s. Masing-masing model diberikan sudut kecepatan masuk mulai dari 0° sampai 46° dengan interval 2° .



Gambar 1. Model simulasi dan hasil meshing

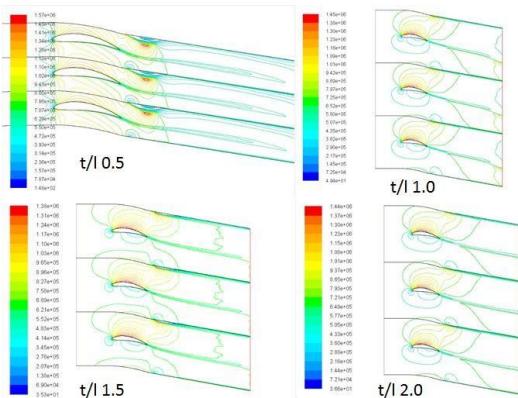
Hasil dan Pembahasan

Simulasi dimulai dengan menentukan kondisi awal, kecepatan masuk serta beberapa parameter lainnya. Dari empat model dengan variasi rasio *pitch-chord* *t/l* sebagaimana disebutkan sebelumnya, dipilih *t/l* 1.0 untuk ujicoba simulasi dengan variasi kecepatan. *t/l* 1.0 dipilih berdasarkan analisis kasakde secara aliran potensial dimana Muis mengklaim bahwa hasil perhitungan koefisien *lift* untuk *t/l* 1.0 memiliki jangkauan dan besaran yang lebih baik dari rasio *t/l* lainnya [9]. Simulasi dilakukan dengan 3 variasi kecepatan masuk sebesar 10 m/s, 100 m/s dan 1000 m/s, namun hanya kecepatan masuk 10 m/s dan 1000 m/s yang ditampilkan disini. Pada kecepatan masuk 10 m/s dan 100 m/s, fluida cenderung berjalan lambat pada permukaan kaskade airfoil dan distribusi tekanan yang dihasilkan tidak seperti kaskade pada umumnya. Dilihat dari tekanan statis, kontur tekanan terpusat pada bagian LE dan TE sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Adapun untuk kecepatan 1000 m/s, distribusi kecepatan dan tekanan terlihat menjanjikan untuk dapat digunakan sebagai bahan masukan perancangan turbin.



Gambar 2. Kontur tekanan statis pada kaskade airfoil dengan *t/l* 1.0. a. Kecepatan masuk 10 m/s, b. Kecepatan masuk 1000 m/s

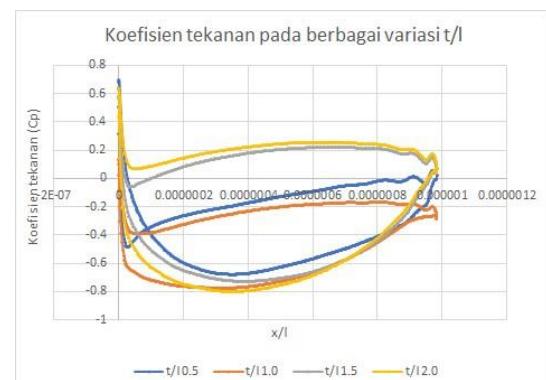
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari tiga variasi kecepatan tersebut, dipilih kecepatan 1000 m/s untuk digunakan sebagai kondisi awal kecepatan masuk kaskade airfoil. Model kaskade yang disimulasikan adalah kaskade dengan t/l 0.5, 1.0, 1.5 dan 2.0. Masing-masing model diberi kondisi batas yang sama.



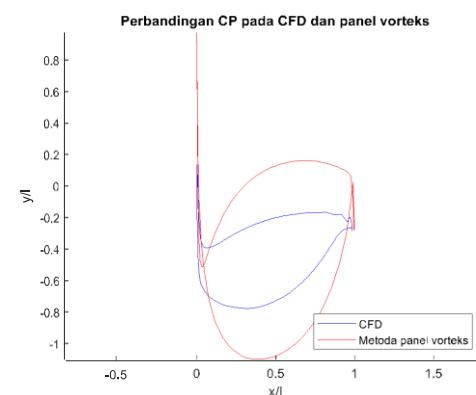
Gambar 3. Kontur tekanan dinamis pada kaskade dengan berbagai variasi t/l

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, masing-masing airfoil memiliki *wake* yang cukup panjang ke bawah sebagai ciri khas kaskade. Visualisasi yang ditunjukkan hanya pada sudut nol dari masing masing variasi. Koefisien *lift* juga diperoleh dari hasil simulasi dimana semakin tinggi rasio *pitch* dan *chord* maka semakin meningkat pula koefisien *lift*-nya, namun hasilnya tidak ditampilkan dalam makalah ini.

Koefisien tekanan dari hasil CFD dapat dilihat pada Gambar 4.a. semakin tinggi t/l maka koefisien tekanan juga meningkat sebagaimana koefisien *lift*. Selanjutnya koefisien *lift* dari CFD dibandingkan dengan metoda panel dan diperoleh hasil yang cukup berbeda dimana koefisien tekanan CFD lebih rendah dibanding dengan metoda panel. Perbedaan hasil bisa jadi karena perlu perbaikan kualitas *mesh* pada saat diskritisasi model pada CFD. Selain itu, simulasi dengan CFD sangat memakan banyak waktu dan hasil yang diperoleh belum tentu sesuai. Alternatif alin seperti kombinasi antara metoda panel dengan persamaan lapisan batas terlihat menarik dan akan dikembangkan selanjutnya oleh penulis.



a



b

Gambar 4. Perbandingan koefisien tekanan
a) pada berbagai rasio pitch-chord,
b. Hasil CFD dengan metoda panel pada t/l 1

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka diambil kesimpulan :

1. Proses desain sudu turbin menggunakan bantuan CFD memerlukan *trial and error* yang cukup banyak dan tidak ekonomis sehingga diperlukan alternatif lain
2. Metoda panel aliran potensial terbukti cepat dan akurat untuk analisis aerodinamika, namun tidak ada efek viskositas sehingga tidak terjadi *stall* pada sudut masuk tinggi.
3. Metoda panel dengan lapisan batas bisa dijadikan alternatif untuk proses desain sudu karena murah dan tidak *time consuming*

Penghargaan

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian ESDM atas dukungan finansial dan Institut Teknologi Bandung atas kesempatan studi serta Pusat Penelitian Energi Baru Terbarukan dan Pusat Rekayasa Industri ITB atas fasilitas yang diberikan

Referensi

- [1] J.B.R. Rose dan M. Raguraman. Numerical Investigation of Aerofoil Cascade and Tandem Cascade Using Vortex Panel Method. Asian Engineering Review, 2 (2), 23-29. 2015
- [2] R.F. Susan-Resiga, S. Muntean dan I. Anton. Numerical Analysis of Cascade Flow, Part I: Finite Element Analysis of the Inviscid Flow. Fifth International Conference on Hydraulic Machinery and Hydrodynamics. 2000
- [3] T. Bian, Q. Han dan M. Bohle. A Design Method for Cascades Consisting of Circular Arc Blades with Constant Thickness. International Journal of Fluid Machinery and Systems. 10(1), hlm. 63-75. 2017
- [4] R.I. Lewis dan J.H. Horlock, Flow Disturbances Due to Blade Thickness in Turbomachines, Journal Mechanical Engineering Science Vol. 11 No. 1. 1969
- [5] J. H. Horlock dan J.D. Denton, A Review of Some Early Design Practise Using Computational Fluid Dynamics and a Current Perspective, Jounal of Turbomachinery Vol. 127, 2005
- [6] Lewis, R. I. Turbomachinery Performance Analysis, Elsevier Science & Technology Books, 1996
- [7] Lewis, R. I. Vortex Element Methods for Fluid Dynamic Analysis of Enggineering Systems, Cambridge University Press, Cambridge, 1991
- [8] F.R. Menter. Zonal Two Equation $k-\omega$, Turbulence Models for Aerodynamic Flows. 24th Fluid Dynamics Conference, Florida, 1993
- [9] A. Muiz, P. Sutikno, A. Soewono dan F. Hartono, Optimal Design of Two Dimensional Cascade with Shock-free inflow Condition, International Journal of Fluid Machinery and Systems, Vol. 9 No.4.