

Perancangan Sudu Turbine Expander Menggunakan Profil NACA 0018 Dengan Program Cascade dan CFD

Judul artikel

I Wayan Marlon Managi

Politeknik Negeri Bali, Jl. Raya Uluwatu No.45, Jimbaran, 8036 Bali, Indonesia
Penulis korespondensi, Surel: marlon_managi@pnb.ac.id

Paper received: 05-02-2023; revised: 15-02-2023; accepted: 30-02-2023

Abstract

Research and development of the Organic Rankine Cycle (ORC) is becoming increasingly intense for converting heat into electricity. Many heat sources are available such as: solar radiation, biomass combustion, heat waste from factory and geothermal. Radial turbine is chosen for Organic Rankine Cycle due to its simple structure, components availability, and ease of application on a small power plant scale. The efficiency of the cycle is highly dependent on the design of the radial turbine. This study aims to obtain a turboexpander design with the utilization of NACA0018 airfoil as a stator. Optimization of stator blade with direct analysis method using "Cascade" program to obtain optimal inlet and outlet angle. From the simulation, the efficiency of the turboexpander was 65.13% with an output power of 6,513 kW. Radial turboexpander that works at an inlet pressure of 3 bar and a rotational speed 9000 rpm using the NACA0018 profile stator, obtained results where fluids flow in the rotor with shock free conditions and no swirl occurs

Keywords: organic rankine cycle (orc); modification naca0018; optimization angle on leading edge

Abstrak

Penelitian dan pengembangan Siklus Rankine Organik (ORC) menjadi semakin intens untuk mengkonversi panas menjadi listrik. Sumber panas yang beragam seperti: radiasi matahari, pembakaran biomassa dan pemanfaatan panas dari limbah panas pabrik, maupun panas bumi. Pemilihan turbin radial untuk siklus Rankine organik dikarenakan struktur yang sederhana, ketersediaan komponen, dan kemudahan aplikasi pada skala pembangkit listrik kecil. Efisiensi dari siklus sangat bergantung pada desain turbin radial. Studi ini dilakukan untuk memperoleh desain turboexpander dengan pemanfaatan airfoil NACA0018 sebagai stator. Optimasi sudu stator dengan metoda *direct analysis* menggunakan program "Cascade" untuk mendapatkan sudut inlet dan outlet yang optimal. Dari simulasi diperoleh hasil efisiensi dari turboexpander sebesar 65,13 % dengan daya keluaran sebesar 6,513 kW. Turboexpander radial yang bekerja pada tekanan inlet 3 bar dan kecepatan rotasional 9000 rpm dengan menggunakan stator profil NACA0018, didapat hasil dimana aliran fluida pada rotor dengan kondisi shock free dan tidak terjadi swirl.

Kata kunci: siklus rankine organik (orc); modifikasi naca0018; optimasi sudut pada *leading edge*

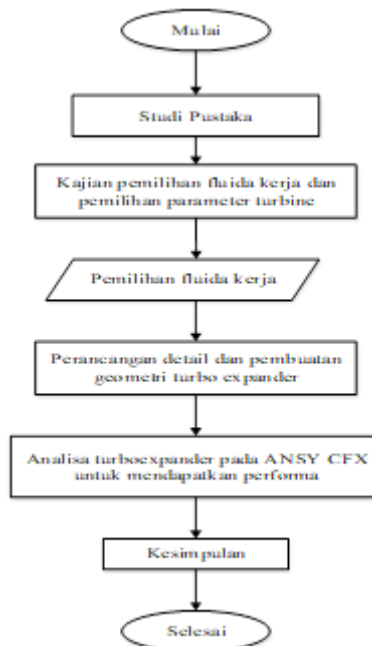
1. Pendahuluan

Sumber energi baru yang dapat dikembangkan untuk mengatasi kelangkaan energi maupun mengurangi polusi udara terhadap dampak penggunaan energi fosil salah satunya ialah pemanfaat *Organic Rankine Cycle* (ORC). Beberapa tahun terakhir penelitian dan pengembangan Siklus Rankine Organik (ORC) menjadi semakin intens untuk mengkonversi panas menjadi listrik. Sumber panas yang beragam seperti: radiasi matahari, pembakaran biomassa dan pemanfaatan panas dari limbah panas pabrik, maupun panas bumi. Tidak seperti pembangkit tenaga uap, siklus Rankine Organik menggunakan fluida refrigerant organik atau hidrokarbon sebagai fluida kerjanya karena kelebihanannya memiliki temperatur didih yang rendah, pemanfaatan sumber panas yang rendah untuk pembangkitan listrik menjadi mungkin.

Pemilihan turbin radial untuk siklus Rankine organik dikarenakan struktur yang sederhana, ketersediaan komponen, dan kemudahan aplikasi pada skala pembangkit listrik kecil. Banyak peneliti yang sudah mengkaji ORC diantaranya : (Nguyen dkk, 2001), (Saitoh dkk, 2007), (Kane dkk, 2003), melakukan pengkajian desain siklus Rankine Organik mikro untuk pembangkit listrik. Sedangkan (Hung, 2001), (Wei dkk, 2007), (Nowak dkk, 2008), melakukan analisa performa siklus Rankine Organik menggunakan limbah panas. (Tchanche dkk, 2008) melakukan investigasi 20 fluida refrigerant berdasarkan dari volume flow rate, mass flow rate, pressure ratio, toxicity, flammability, ODP and GWP sebagai pembandingan, R134a menjadi salah satu pilihan yang cocok untuk skala kecil. Pemilihan turbin radial untuk siklus Rankine organik dikarenakan struktur yang sederhana, ketersediaan komponen, dan kemudahan aplikasi pada skala pembangkit listrik kecil. Effisiensi dari siklus sangat bergantung pada desain turbine radial. Oleh karenanya desain yang sesuai dengan kondisi kerja dimana turbine akan diaplikasikan sangatlah penting

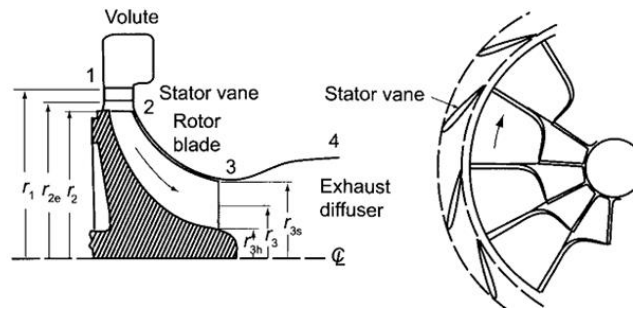
2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini dilakukan studi pustaka untuk mendapatkan informasi detail mengenai siklus Rankine organik (ORC) dengan turbin radial. Analisa parameter yang berkaitan erat dengan perancangan turbin radial dan siklus termodinamikanya. Kajian fluida organik yang akan digunakan pada turboexpander dengan pemilihan yang sesuai pada daerah kerja dimana turbin akan di aplikasikan dan analisa tekanan kritis pada fluida kerja sehingga tekanan kerja turbin tidak melampaui tekanan kritis fluida. Selanjutnya dilakukan perancangan awal geometri turbin dengan parameter rasio tekanan inlet dan outlet 3:1 bar, kecepatan rotasinal 9000 rpm, temperatur masuk 80°C, kecepatan spesifik (Ns) sebesar 0.75 dimana turbin radial menghasilkan performansi maksimum, dengan fluida kerja R134a. Perhitungan segitiga kecepatan pada rotor untuk mendapatkan kecepatan rotor dan korelasi dengan perhitungan jumlah blade rotor. Perancangan Volute pada turboexpander menggunakan parameter laju aliran massa sebesar 0.3 kg/s. Besaran laju aliran massa di dapat dari perhitungan kecepatan spesifiknya.



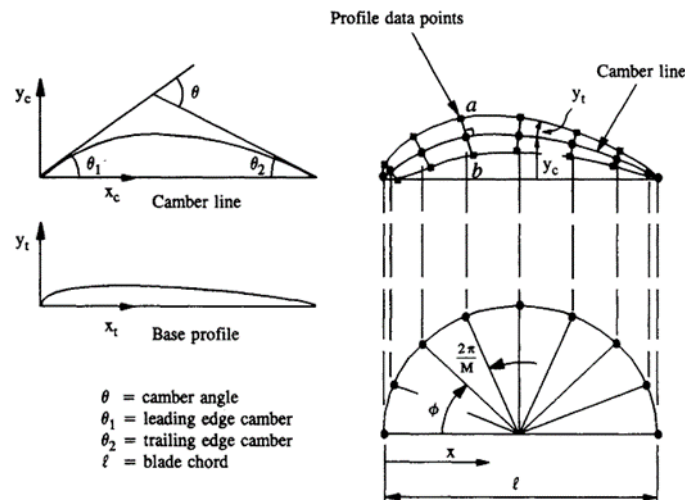
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Turbine Expander terbagi menjadi 4 komponen penting antara lain : 1. *Volute*, 2. *Stator*, 3. *Rotor* dan 4. *Exhaust Diffuser*. Dalam kajian ini studi yang dilakukan difokuskan pada analisa *Stator* dengan menggunakan profil *Airfoil* NACA 0018. Rotor merupakan bagian dari turboexpander yang berputar, untuk perancangan design rotor menggunakan prosedur dari (Aungier, 2006), selanjutnya di input pada BladeGen Ansys untuk menggambar geometri dan melakukan simulasi pada CFX.



Gambar 2. Penampang Turbine Expander

Perancangan stator menggunakan profil NACA 0018 dengan melalui modifikasi koordinat pada profil *airfoil* dengan menggunakan metoda "*Direct(or Analysis) Method*" kita melakukan pembuatan blade dari analisa sistematis seperti ilustrasi gambar di bawah ini dengan mengidentifikasi barisan *airfoil* yang efektif untuk satu kondisi tertentu.



Gambar 3. Circular Arc Chamber Airfoil

Untuk mendapatkan kondisi yang shock free digunakan program "*Cascade*" sebagai bantuan dalam mendapatkan design sudu stator yang memenuhi kondisi tersebut. Dengan program *cascade* kita dapat membentuk kembali profil blade sesuai dengan strategi analisa gambar di atas

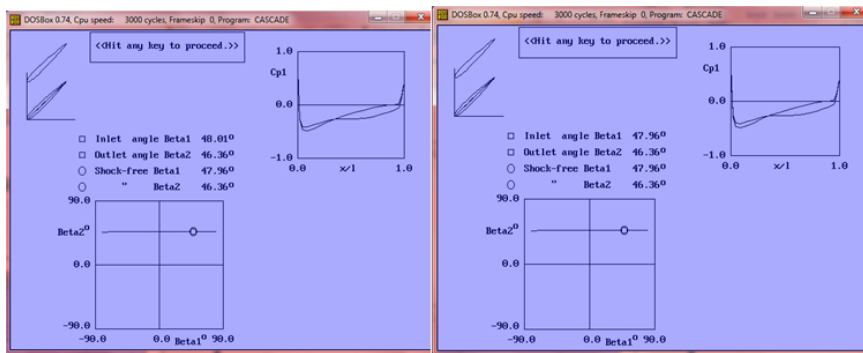
3. Hasil dan Pembahasan

Modifikasi dilakukan pada koordinat *airfoil* NACA 0018 standar yang di optimasi menggunakan program *Cascade* untuk mendapatkan sudut *shock free*. Data perhitungan parameter dari rotor tampak pada tabel 1.

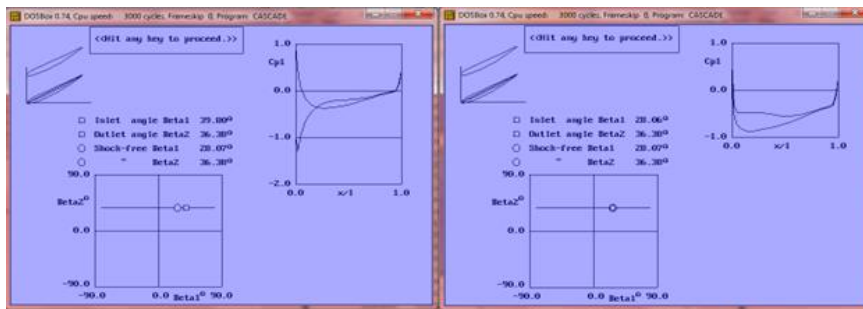
Tabel 1. Tabel Perhitungan parameter Rotor

No	Parameter	Hasil Perhitungan
1	$\Delta h_{isentropic} = C_p T_{in} \left[1 - \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$	$\Delta h_{isentropic} = 35.84 \text{ kJ/kg}$
2	$\Delta h_{overall} = 0.85 \times \Delta h_{isentropic}$	$\Delta h_{overall} = 29.91 \text{ kJ/kg}$
3	$C_0 = \sqrt{2\Delta H_{isentropic}}$	$C_0 = 267.73 \text{ m/s}$
4	$\frac{U_{rotor}}{C_0} = 0.7$	$U_{rotor} = 187.40 \frac{m}{s}$
5	$r_4 = \frac{U_4}{\omega}$	$r_4 = 0.1988 \text{ m}$
6	$V_{\theta 4} = \frac{\Delta h_{overall} zc}{U_4}$	$V_{\theta 4} = 168.01 \text{ m/s}$

Data hasil perhitungan rotor pada tabel 1 diatas digunakan untuk menentukan desain stator. Parameter perhitungan stator kemudian di input pada program *Cascade* untuk mendapatkan desain *shock free* pada *angle of attack* pada *leading edge stator* seperti tampak pada gambar dibawah ini.



(a)



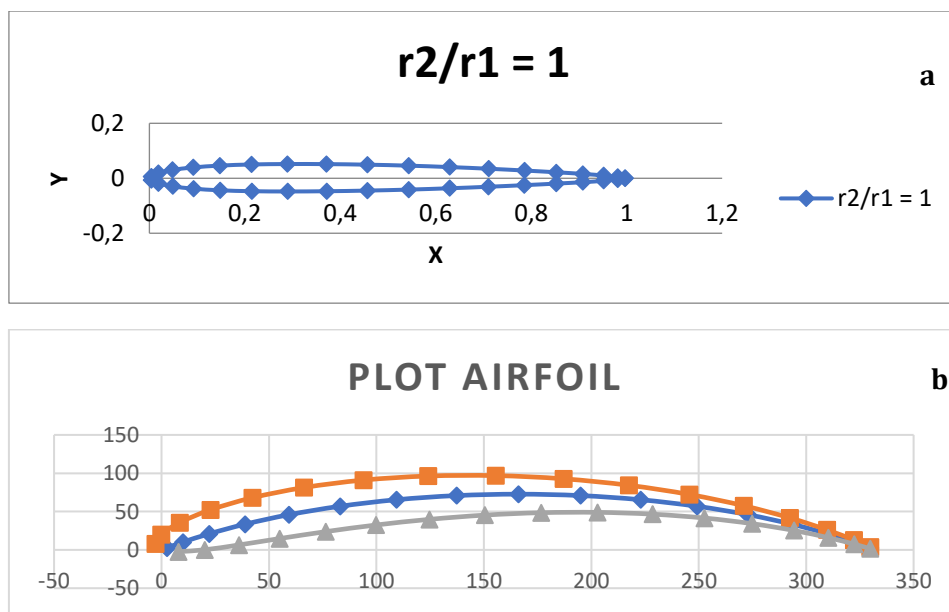
(b)

Gambar 4. (a), (b) Input Modifikasi Koordinat Airfoil NACA0018 Pada Program Cascade

Tabel 2. Tabel Koordinat Sudu Rotor NACA0018 Modifikasi

xc	yc	yt
0.002320451	0.00247	0.006766
0.009211541	0.009355	0.01312
0.020463404	0.019331	0.018445
0.035734816	0.03078	0.022696
0.054561135	0.042181	0.025673
0.076370804	0.052283	0.027225
0.100500923	0.060144	0.02744
0.126218333	0.065113	0.026366
0.152741608	0.06681	0.024258
0.179264882	0.065113	0.021409
0.204982292	0.060144	0.018064
0.229112411	0.052283	0.014486
0.25092208	0.042181	0.01092
0.2697484	0.03078	0.007593
0.285019811	0.019331	0.004713
0.296271674	0.009355	0.00248
0.303162765	0.00247	0.001063

Hasil modifikasi pada koordinat *stator* dari desain turboexpander yang telah didapat kemudian dilakukan plot dari profil airfoil NACA 0018 modifikasi seperti tambak pada gambar 5b.

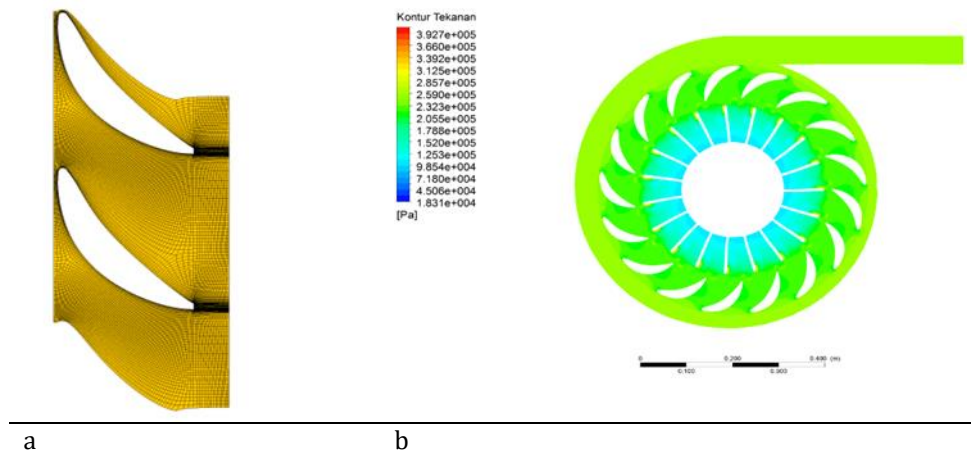


Gambar 4. (a) Plot Profil NACA 0018 Base awal, (b). Plot Airfoil NACA 0018 Modifikasi

Koordinat stator yang baru yakni NACA0018 modifikasi di plot pada program CAD (*Computer Aided Desain*) untuk dibuat bentuk 3 dimensinya yang nantinya dilakukan simulai aliran menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamic*).

Tabel 3. Data Meshing Pada Domain Stator

Domain	Nodes	Elements	Tetrahedral	Wedges	Pyramids	Hexahedra
Stator	264337	244680	0	0	0	244680



Gambar 5. (a). Hasil Meshing Pada Sektor Rotor, (b). Hasil Simulasi Plot Kontur Tekanan

Dari gambar 6. (b). tampilan potongan kontur di atas dapat kita lihat bahwa tekanan pada leading edge stator berada pada range 1700.000 – 245.000 Pa dan pada trailing edge tekanan fluida berada pada range 210000 – 225.000 Pa. Sedangkan pada leading edge rotor cukup tinggi berkisar antara 328.500 Pa hingga 406.100 Pa dengan distribusi tekanan yang lebih rendah pada daerah trailing edge. Dengan dilakukannya modifikasi koordinat dari rotor dengan metode *Direct(or Analysis) Method* maka didapat hasil dimana aliran fluida pada rotor dengan kondisi *shock free* dan tidak terjadi *swirl*.

4. Simpulan

Perancangan sudu *turbine turboexpander* menggunakan program *cascade* dan menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan model turbulensi SST (*Shear Stress Transport*) telah berhasil. Dari simulasi diperoleh hasil efisiensi dari turboexpander sebesar 65,13 % dengan daya keluaran sebesar 6,513 kW. *Turboexpander* radial yang bekerja pada tekanan inlet 3 bar dan kecepatan rotasional 9000 rpm dengan menggunakan stator profil NACA0018 yang telah dilakukan modifikasi menggunakan program *cascade*. Diperoleh hasil aliran fluida pada rotor dengan kondisi *shock free* dan tidak terjadi *swirl*.

Daftar Rujukan

- Wei, D., Lu, X., Lu, Z., & Gu, J. (2007). Performance analysis and optimization of organic Rankine cycle (ORC) for waste heat recovery. *Energy conversion and Management*, 48(4), 1113-1119.
- Qiu, G. (2012). Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC. *Renewable Energy*, 48, 565-570.
- Saitoh, T., Yamada, N., & Wakashima, S. I. (2007). Solar Rankine cycle system using scroll expander. *Journal of environment and engineering*, 2(4), 708-719.
- Ansys, I. (2013). ANSYS CFX-Solver Theory Guide. SAS IP, Inc.
- Bambang Teguh, P., Suyanto, T. S., Kurniawan, P., Djubaedah, E., & Ola, K. (2011). Design of n-butane radial inflow turbine for 100 kw binary cycle power plant. *Int. J. Eng. Technol.*, 11, 55-59.
- Nguyen, V. M., Doherty, P. S., & Riffat, S. B. (2001). Development of a prototype low-temperature Rankine cycle electricity generation system. *Applied Thermal Engineering*, 21(2), 169-181.

- Nowak, W., Borsukiewicz-Gozdur, A., & Stachel, A. A. (2008). Using the low-temperature Clausius-Rankine cycle to cool technical equipment. *Applied Energy*, 85(7), 582-588.
- Balje, O. E. (1981). *Turbomachines-A guide to design, selection, and theory* (No. BOOK). John Wiley & Sons.
- Capata, R., & Hernandez, G. (2014). Preliminary design and simulation of a turbo expander for small, rated power organic Rankine cycle (ORC). *Energies*, 7(11), 7067-7093.
- Claessens, M. C. (2006). The design and testing of airfoils for application in small vertical axis wind turbines.
- Department of Defense Military Design Handbook. (1990). Design of Aerodynamically Stabilized Free Rockets. U.S. Army Missile Command. MIL-HDBK-762(MI).
- Logan Jr, E. (2003). *Handbook of turbomachinery*. CRC Press.
- Ghosh, S. K. (2008). *Experimental and computational studies on cryogenic turboexpander* (Doctoral dissertation).
- Glassman, A. J. (1976). Computer Program for Design Analysis of Radial-Inflow Turbines. National Aeronautics and Space Administration.
- Aungier, R. H. (2006). Turbine aerodynamics. *ASME, New York*.
- Lewis, R. I. (1996). Turbomachinery Performance Analysis. Elsevier Science & Technology Books.
- Moran, Michael J. Shapiro, Howard N. Munson, Bruce R. dan DeWitt, David P. (2003). Introduction to Thermal System Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics and Heat Transfer. John Wiley & Sons, Inc.
- Rahbar, K., Mahmoud, S., Al-Dadah, R. K., & Moazami, N. (2015). Modelling and optimization of organic Rankine cycle based on a small-scale radial inflow turbine. *Energy conversion and management*, 91, 186-198.
- Rodger, C. (1987). High Pressure Ratio Radial Turbine Design Constraints. von Karman Institute for Fluid Dynamics, Rhode Saint Genese.
- Sauret, E., & Gu, Y. (2014). Three-dimensional off-design numerical analysis of an organic Rankine cycle radial-inflow turbine. *Applied Energy*, 135, 202-211.
- Sauret, E., & Rowlands, A. S. (2011). Candidate radial-inflow turbines and high-density working fluids for geothermal power systems. *Energy*, 36(7), 4460-4467.
- Simms, J. (2009). Fundamentals of the Turboexpander: Basic Theory and Design. *Santa Maria: Gas Technology Services*, 34.