

# Pengembangan Model Turbulen RNG k- $\epsilon$ ; Untuk Aplikasi CFD Pada Runner Cross-Flow Dalam Komponen Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2a = RNG k- $\epsilon$ ; turbulence model development for CFD Application on Cross-Flow Runner of a Proto X-2a Bioenergy Micro Gas Turbine

Steven Darmawan, author

Deskripsi Lengkap: <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20424834&lokasi=lokal>

---

## Abstrak

Kebutuhan akan energi yang semakin meningkat menjadikan turbin gas mikro berkembang menjadi alternatif pembangkit daya yang dapat digunakan. Turbin gas Mikro Proto X-2a merupakan turbin gas mikro dengan satu-tingkat kompresor-turbin dimana pembangkitan daya dilakukan melalui aplikasi sebuah runner cross-flow yang dihubungkan ke generator. Runner cross-flow ini digerakkan oleh udara pada sisi masuk kompresor. Pada operasinya, vorteks resirkulasi terbentuk pada bagian dalam runner cross-flow. Karena besaran vorteks ini mempengaruhi unjuk kerja dari runner cross-flow, analisis yang lebih baik diperlukan, yang juga dapat digunakan dan sebagai dasar pengembangan. Perilaku vorteks resirkulasi direpresentasikan lebih detail, dengan menggunakan metode CFD dengan menggunakan model turbulen RNG k- $\epsilon$ . Karakteristik vorteks resirkulasi yang diiringi dengan penurunan temperatur pada bagian dalam runner cross-flow tersebut sesuai untuk penggunaan model turbulen RNG k- $\epsilon$ . Perubahan temperatur tersebut mempengaruhi aliran resirkulasi yang terjadi secara molekular, selain secara konvektif. Pada kondisi ini, analogi Reynolds tidak lagi sesuai untuk digunakan. Oleh karena itu, pemilihan bilangan turbulen Prandtl turbulen  $\epsilon$  inverse ( $\epsilon^{-1}$ ) yang mampu merepresentasikan fenomena aliran tersebut menjadi penting.

Berdasarkan konsep difusivitas pada aliran turbulen, konsep rasio viskositas molekular dan turbulen pada model turbulen RNG k- $\epsilon$ , pada penelitian ini, nilai  $\epsilon^{-1}$  divariasikan menjadi 1; 1,1; 1,2 dan 1,3. Simulasi CFD pada runner cross-flow dilakukan secara tiga-dimensi dengan menggunakan CFDSOF. Jumlah mesh optimum 300 x 147 x 3 dari hasil uji ketergantungan mesh digunakan dengan jenis mesh Body-fitted-coordinate (curved-linear). Eksperimen dilakukan pada sistem turbin gas mikro Bioenergi Proto X-2a yang telah dihubungkan dengan runner cross-flow dan sebuah alternator DC. Parameter karakteristik turbin gas mikro didapatkan, bersama dengan kecepatan poros dan beda temperatur pada casing runner cross-flow.

Data hasil eksperimen (data\_1, data\_2 dan data\_3) secara berturut-turut menghasilkan kecepatan poros runner (N3) dan beda temperatur pada sisi masuk dan keluar ( $\Delta T_{CR}$ ) sebesar 1330 rpm ( $\Delta T_{CR1} = 0,424^{\circ}\text{C}$ ), 604 rpm ( $\Delta T_{CR2} = 0,874^{\circ}\text{C}$ ) dan 659 rpm ( $\Delta T_{CR3} = 0,936^{\circ}\text{C}$ ). Ketiga data ini dianalisis secara lebih detail dengan CFD. Hasil eksperimen dengan data\_3 dengan  $\Delta T_{CR}$  paling besar menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut runner sudah terbebani oleh generator listrik, sistem turbin gas mikro sudah menghasilkan daya listrik 0,54 kWh. Kondisi ini dicapai pada kecepatan kompresor (N1) 78.890 rpm dengan rasio tekanan 1,4 pada efisiensi kompresor 67% dan laju bahan bakar Diesel 2,314 g/s, dengan daya termal yang dihasilkan runner cross-flow sebesar 230 Watt. Secara umum, hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa vorteks resirkulasi terbentuk di bagian dalam runner cross-flow pada zona VI hingga

VIII (dari sudu jalan ke-14 hingga ke-18). Variasi nilai  $\epsilon$  yang divariasikan menjadi 1; 1,1; 1,2 dan 1,3 efektif pada beda temperatur runner  $\Delta T_{CR}$  yang paling besar ( $\Delta T_{CR3} = 0,9360\text{C}$ ) dengan parameter hasil simulasi kecepatan-w dan temperatur statik pada zona resirkulasi (zona VI ? VIII) koordinat (i,j,k = 37-100; 57; 2), pada daerah dekat dinding sudu arah radial pada sudu ke-14 hingga sudu ke-18. Pada data hasil eksperimen lain, variasi nilai  $\epsilon$  tidak signifikan pada koordinat tersebut. Dari berbagai analisis yang telah dilakukan pada runner cross-flow, terutama pada aliran resirkulasi, besaran bilangan Prandtl turbulen - inverse ( $\epsilon$ ) dapat direkomendasikan nilai optimum  $\epsilon = 1,1$ . Bilangan  $\epsilon$  tersebut menjadikan rasio viskositas molekular dan viskositas turbulen sebesar  $\mu_m/\mu_t = 0,8394$ , yang paling optimum dalam merepresentasikan aliran resirkulasi yang terjadi pada bagian dalam runner cross-flow dengan menggunakan model turbulen RNG k- $\epsilon$ . Hasil ini dapat digunakan untuk analisis dan pengembangan perancangan runner cross-flow.

Increasing of energy needs has lead the development of micro gas turbine as an alternative power generator. The Proto X-2a Bioenergy Micro Gas Turbine is a single-stage compressor-turbine, at which the electricity power generated by application of a cross-flow runner coupled with a DC alternator. This cross-flow runner is driven by inlet compressor air  $\Delta p$  a sub-pressure application. Recirculation vortexes which occur during operation inside the cross-flow runner affect the performance of the cross-flow runner and the Proto X-2a in general. For performance analysis and design development reasons, this condition has triggered more detailed analysis of this type of vortex of the cross-flow runner numerically with CFD method with RNG k- $\epsilon$  turbulence model. Characteristics of recirculation vortexes carried with slightly-decreased temperature inside the cross-flow runner suitable with RNG k- $\epsilon$  turbulence model. Furthermore, the temperature difference inside the cross-flow runner affects the recirculation vortexes since the molecular transport also dominant, beside the convective transport. During this condition, selection of appropriate inverse-turbulent Prandtl number ( $\epsilon$ ) is important to represent the recirculation vortexes.

Inverse-turbulent Prandtl number ( $\epsilon$ ) varied to 1; 1,1; 1,2 and 1,3 in this research, based on turbulence diffusivity theory, turbulent and molecular viscosity ratio and basic concept of RNG k- $\epsilon$  turbulence model. The CFD simulation done three-dimensionally with CFD-SOF. The mesh-dependency test resulting the optimum mesh was 300 x 147 x 3 cells. The mesh was body-fitted-coordinate (curved-linear type). Experimental data from the Proto X-2a Bioenergy Micro Gas Turbine including the temperature difference and shaft rotational speed of the cross-flow runner is used to CFD simulation. Electricity power generated by a DC alternator coupled to the cross-flow runner is also used to analyzed as a part of the system and temperature difference effect to the runner.

Three experimental data (data\_1, data\_2 and data\_3) were detailed-numerically analyze. The data generated the cross-flow runner shaft speed ( $N_3$ ) and temperature difference at cross-flow runner casing;  $N_3 = 1330$  rpm ( $\Delta T_{CR1} = 0,4240\text{C}$ ),  $N_3 = 604$  rpm ( $\Delta T_{CR2} = 0,8740\text{C}$ ) dan  $N_3 = 659$  rpm ( $\Delta T_{CR3} = 0,9360\text{C}$ ) respectively. Data\_3 shows the optimal condition of the system, at which the compressor shaft velocity ( $N_1$ ) was 78.890 rpm, pressure ratio at 1,4, efficiency of 67%, and generated 0,54 kW electricity power with 2,314 g/s Diesel fuel flow rate. At this condition, the cross-flow runner generated 230 W. Recirculation vortexed shows by CFD simulation occur at the inner side of the cross-flow runner, at VIth ? VIIIth zones (14th ? 18th blade) in general for all data. The CFD simulation shows that variation of

is effective at data\_3, where the temperature difference is the largest ( $\Delta T_{CR3} = 0,9360C$ ), while the others data shows almost no difference at variations. More detailed analysis done at recirculating vortexed ? dominated area at  $i;j;k = 37-100; 57; 2$  for data\_3, near the radial blade wall with two most affective parameters; w-velocity and static temperature to represent the recirculation flow at recirculation zone. The optimum is 1,1 since this variation shows the most logic results compared to the other variation of;. Therefore, for CFD simulation with RNG k- $\epsilon$  turbulence model to a cross-flow runner, is is recomended to use that represent better recirculation flow, and the optimum ratio between molecular and turbulent viscosity is now  $\mu_0/\mu_t=0,8394$ . This result is can be used for both analysis and future design development of cross-flow runner.