

Komparasi Karakteristik Model Turbulen Pada Aliran Blower Pada Turbin Gas Mikro Bioenergi Proto X-2

Ahmad Indra Siswantara¹, Steven Darmawan^{1,2}, Budiarmo¹

¹ Universitas Indonesia, Departemen Teknik Mesin
Kampus Baru UI Depok 16242, Indonesia

² Universitas Tarumanagara, Jurusan Teknik Mesin
Jl. Let. Jend. S. Parman No.1, Jakarta 11440, Indonesia

Email: a_indra@eng.ui.ac.id

Abstrak

Aliran turbulen terjadi pada hampir di setiap jenis aliran. Sifatnya yang fluktuatif dengan bilangan Reynolds yang besar menjadikan jenis aliran ini tidak dapat didefinisikan dengan jelas. Hal ini menjadikan karakteristik aliran turbulen harus dimodelkan secara matematis. Fenomena ini juga terjadi pada aliran yang terjadi pada perangkat mesin-turbo, seperti kompresor dan turbin. Pada makalah ini dilakukan analisis karakteristik aliran fluida pada blower sentrifugal yang digunakan sebagai perangkat penyalaan awal pada prototipe turbin gas mikro bioenergi Proto X-2 yang sedang dikembangkan. Percobaan pada prototipe dilakukan untuk menghasilkan parameter karakteristik turbin gas mikro, dengan melakukan variasi pada bahan bakar. Percobaan awal terhadap prototipe menghasilkan putaran kompresor lebih dari 20.000 rpm, dengan rasio tekanan hingga 1,04, dengan kecepatan masuk udara ke kompresor sebesar 14.67 m/s. Pada putaran yang tinggi disertai laju massa dan rasio tekanan yang besar, jenis aliran memberikan pengaruh yang besar terhadap unjuk kerja blower, antara lain terhadap kestabilan aliran yang mempengaruhi proses penyalaan dan unjuk kerja turbin gas secara keseluruhan. Hal ini menjadikan aliran turbulen yang terjadi pada blower menjadi penting untuk dianalisis. Analisis dan visualisasi aliran turbulen dilakukan dengan perangkat lunak CFD, dengan dua jenis model turbulen yang umum digunakan, yaitu model turbulen $k-\epsilon$ dan model turbulen RNG. Simulasi CFD yang dilakukan pada model blower dengan kedua model turbulen ini memberikan parameter karakteristik yang berbeda, seperti pada kecepatan dan vektor aliran di sekitar dinding sudu kompresor. Analisis terhadap model turbulen ini perlu dilakukan karena model turbulen bersifat spesifik berdasarkan kondisi aliran yang terjadi. Melalui penggunaan model turbulen yang tepat, aliran yang terjadi pada blower dapat diperoleh visualisasi yang lebih tepat sehingga analisis terhadap prototipe dapat dilakukan untuk menghasilkan unjuk kerja prototipe turbin gas yang lebih baik. Lebih jauh prototipe dapat digunakan sebagai penggerak mula, karena dalam beberapa dekade terakhir diproyeksikan sebagai penggerak mula dengan daya di bawah 200 kW yang prospektif dari segi teknis, dimensi, biaya, dan lingkungan.

Keywords: turbulen, CFD, turbin gas mikro.

Pendahuluan

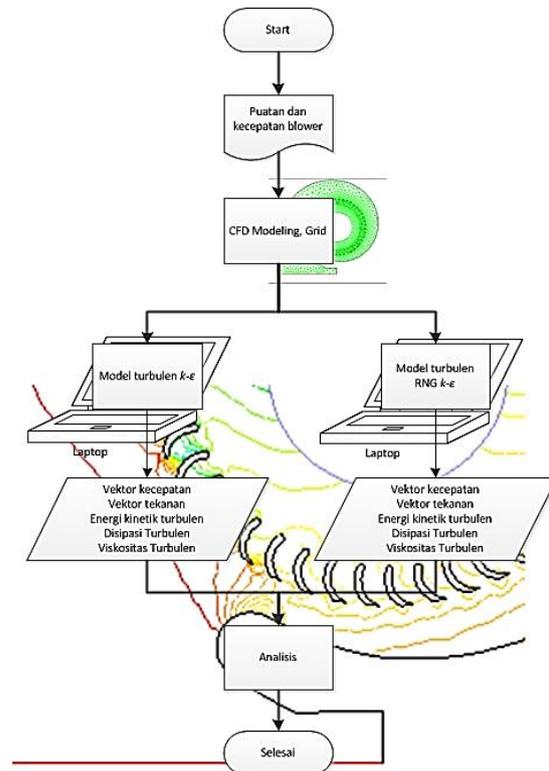
Meningkatnya kebutuhan energi mendorong manusia untuk semakin mengembangkan sistem penggerak mula dan pembangkit daya yang semakin baik, dari sisi unjuk kerja, efisiensi, dan pengaruh terhadap lingkungan. Salah satu hasil pengembangan terhadap sistem penggerak mula adalah turbin gas mikro, dengan daya di bawah 200 kW pada 1970-an oleh General Motor, Garret Airsearch, dan Ford Motor Company [1,2]. Saat ini, turbin gas mikro telah banyak diaplikasi pada banyak bidang, diantaranya digunakan sebagai pembangkit daya.

Sebagai penggerak mula dengan dasar mesin turbo, unjuk kerja mesin turbo sangat berpengaruh terhadap unjuk kerja sistem dan dapat merepresentasikan unjuk kerja sistem secara keseluruhan. Pada operasinya, komponen turbomachine pada turbin gas mikro dapat berputar hingga mencapai 100.000 rpm [3]. Operasi pada turbin gas terlebih dahulu dimulai dengan penyalaan awal yang dilakukan dengan bantuan blower sampai titik dimana kompresor secara mandiri dapat memenuhi kebutuhan udara yang diperlukan [4]. Blower berputar hingga 2000 rpm dengan kecepatan aliran 14,67 ms/. Pada keadaan ini, aliran turbulen terjadi pada blower. Pada mesin turbo,

lapisan batas turbulen berkembang pada permukaan sudu dan dinding. Hingga saat ini, definisi turbulen belum dapat dijelaskan secara pasti karena karakteristiknya yang sangat rumit [5,6]. Keadaan ini mendorong untuk dilakukannya pemodelan terhadap fenomena turbulen yang ada. Untuk mendapatkan visualisasi, fenomena turbulen yang terjadi dapat diselesaikan dengan menggunakan simulasi CFD dimana turbulen dimodelkan berdasarkan model yang ada, diantaranya model $k-\epsilon$ dan model RNG.

Prototipe turbin gas mikro Proto X-2 telah dikembangkan. Simulasi CFD dilakukan pada kompresor sentrifugal dengan data-data input yang dihasilkan oleh prototype dengan menggunakan model turbulen, yaitu model $k-\epsilon$ dan model RNG.

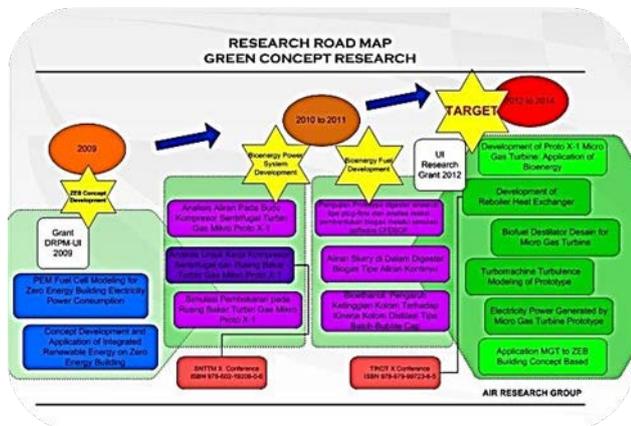
Namun, sesuai dengan karakteristik aliran turbulen pada kompresor yang spesifik, studi karakteristik dari model turbulen $k-\epsilon$ dan RNG harus dilakukan agar model turbulen yang paling sesuai untuk merepresentasikan aliran turbulen yang terjadi diketahui. Dengan model turbulen yang tepat, hasil analisis simulasi CFD yang dilakukan dapat digunakan untuk melakukan pengembangan terhadap Proto X-2 untuk dapat menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik. Hal ini akan menjadikan turbin gas mikro Proto X-2 sesuai untuk diaplikasi pada bangunan dengan konsep Zero Energy Building.



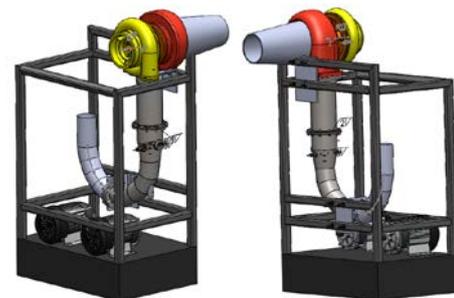
Gambar 2. Experimental Set-up

Parameter karakteristik [7] yang dihasilkan dari eksperimen:

- a. Putaran kompresor
- b. Laju massa udara
- c. Rasio tekanan kompresor
- d. Temperatur masuk turbin (TIT)
- e. Efisiensi kompresor



Gambar 1. Roadmap Penelitian

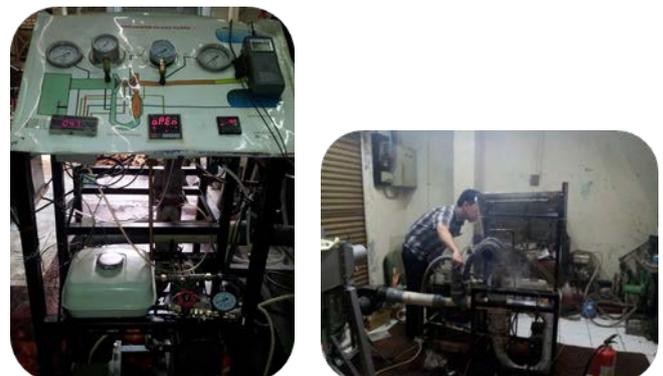


Gambar 3. Model Geometri Proto X-2

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Eksperimen

Untuk memperoleh parameter-parameter karakteristik dari turbin gas mikro Proto X-2, eksperimen dilakukan dengan melakukan variasi terhadap laju massa bahan bakar (solar). Variasi laju bahan bakar dilakukan pada 6 titik, dengan rentang 2.105×10^{-4} hingga 5.51×10^{-4} kg/s.



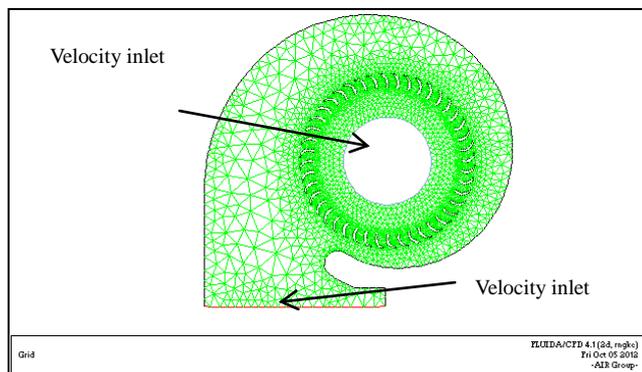
Gambar 4. Turbin gas mikro Proto X-2

Simulasi CFD

Turbulen merupakan fenomena aliran yang terjadi hampir di seluruh bentuk aliran kecuali pada aliran dengan bilangan Reynolds yang sangat rendah. Pada mesin turbo, aliran turbulen terjadi hampir di seluruh rentang operasi, dan lapisan batas turbulen berkembang pada permukaan sudu dan dinding. Hingga saat ini, definisi turbulen belum dapat dijelaskan secara pasti karena karakteristiknya yang spesifik dan sangat rumit [5,6]. Namun, terdapat beberapa karakteristik yang mencerminkan properti turbulen, antara lain: tak tentu, difusifitas tinggi, bilangan Reynolds yang besar, dan vorteks tiga dimenasi. Maka untuk dapat melakukan analisis, maka aliran turbulen dimodelkan secara matematis, baik teoritis maupun visual dengan menggunakan metode CFD.

Simulasi CFD dilakukan pada blower centrifugal yang digunakan sebagai perangkat penyalaan awal turbin gas mikro Proto X-2 dengan menggunakan model turbulen $k-\epsilon$ dan model RNG dalam 2 dimensi. Grid model CFD ditunjukkan pada gambar 5.

Unjuk kerja blower yang digunakan direpresentasikan melalui beberapa parameter, yaitu: distribusi kecepatan, distribusi tekanan, energi kinetik turbulen, dan tingkat disipasi turbulen.



Gambar 5. Grid model CFD blower.

Hasil dan Pembahasan

Gambar 6 - gambar 12 menunjukkan hasil simulasi CFD yang dilakukan dengan menggunakan dua model turbulen yang berbeda, yaitu model turbulen $k-\epsilon$ dan model turbulen RNG $k-\epsilon$.

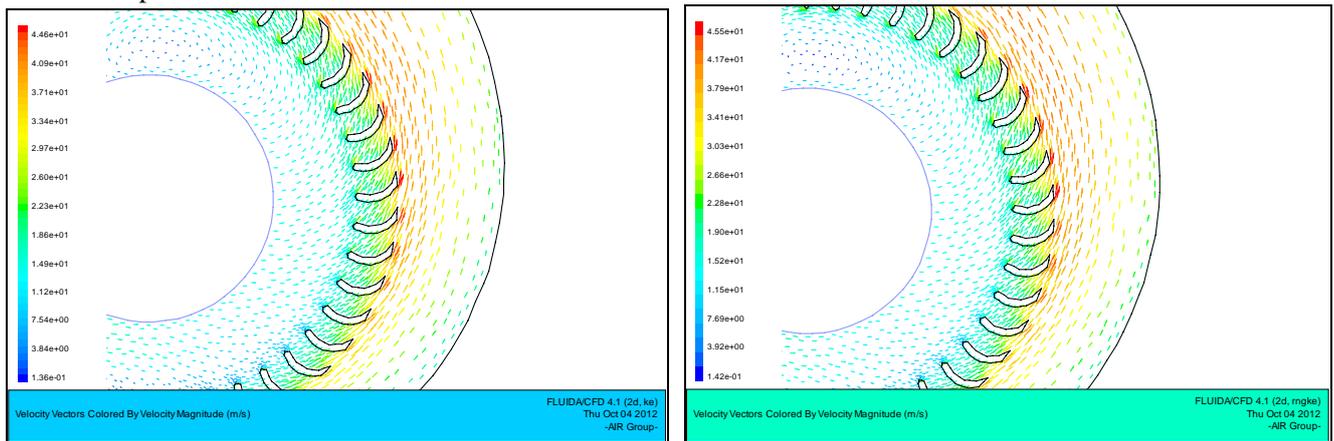
Vektor kecepatan untuk masing-masing model ditunjukkan pada gambar 6, dimana kecepatan yang dihasilkan pada model $k-\epsilon$ lebih besar dibandingkan dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$. Hal ini sesuai dengan distribusi tekanan dimana dilakukan asumsi tekanan yang masuk ke blower merupakan tekanan atmosfer. Model turbulen $k-\epsilon$ menghasilkan rasio tekanan 1.0005 dan model turbulen RNG $k-\epsilon$ menghasilkan rasio tekanan 1.0006.

Gambar 8 menunjukkan energi kinetik turbulen

pada model $k-\epsilon$ lebih besar daripada yang terjadi pada pada model RNG, meskipun perbedaannya tidak terlalu besar, yaitu maksimum $121 \text{ m}^2/\text{s}^2$ dan $118 \text{ m}^2/\text{s}^2$ yang terjadi pada tip blade. Fenomena ini juga terjadi pada tingkat disipasi turbulen (ϵ) pada gambar 9, dimana pada energi kinetik maksimum tingkat disipasi yang terjadi sebesar $3.07 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^2$ dan $2.97 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}^2$. Kedua parameter ini menunjukkan bahwa pada model turbulen RNG $k-\epsilon$, tegangan geser yang terjadi akan lebih besar sehingga menghasilkan peningkatan energi dalam fluida yang lebih besar, terutama pada penurunan energi kinetik. Energi dalam yang lebih besar akan menghasilkan kebutuhan energi yang menjaga aliran turbulen [5].

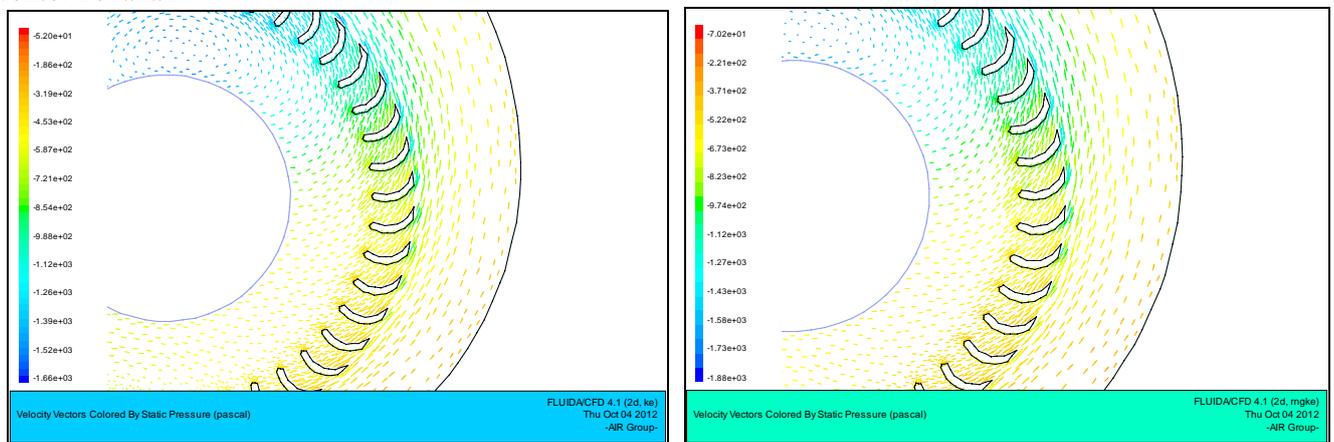
Viskositas efektif yang ditunjukkan pada gambar 11 menunjukkan viskositas pada model turbulen RNG $k-\epsilon$ dengan nilai maksimum $5.38 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s}$ jauh lebih kecil dibandingkan dengan model $k-\epsilon$ dengan nilai maksimum 2.69 kg/m.s . Viskositas maksimum terjadi pada tip dari blade. Pada viskositas yang semakin kecil, untuk kecepatan yang sama, maka bilangan Reynolds aliran akan semakin besar. Namun, pada viskositas yang semakin besar, momentum yang dibawa oleh aliran turbulen juga menjadi semakin besar sehingga energi kinetik turbulen juga akan semakin besar [8], seperti yang ditunjukkan pada gambar 6-8. Gambar 12 menunjukkan *eddy viscosity* pada model RNG $k-\epsilon$ lebih kecil daripada model $k-\epsilon$. Fenomena ini yang juga menyebabkan kecepatan yang dihasilkan dengan model RNG $k-\epsilon$ lebih besar daripada model turbulen $k-\epsilon$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 6. Parameter-parameter simulasi tersebut menunjukkan bahwa model turbulen RNG $k-\epsilon$ merepresentasikan lebih aliran pada blower dengan lebih baik dibandingkan dengan model $k-\epsilon$.

Vektor Kecepatan



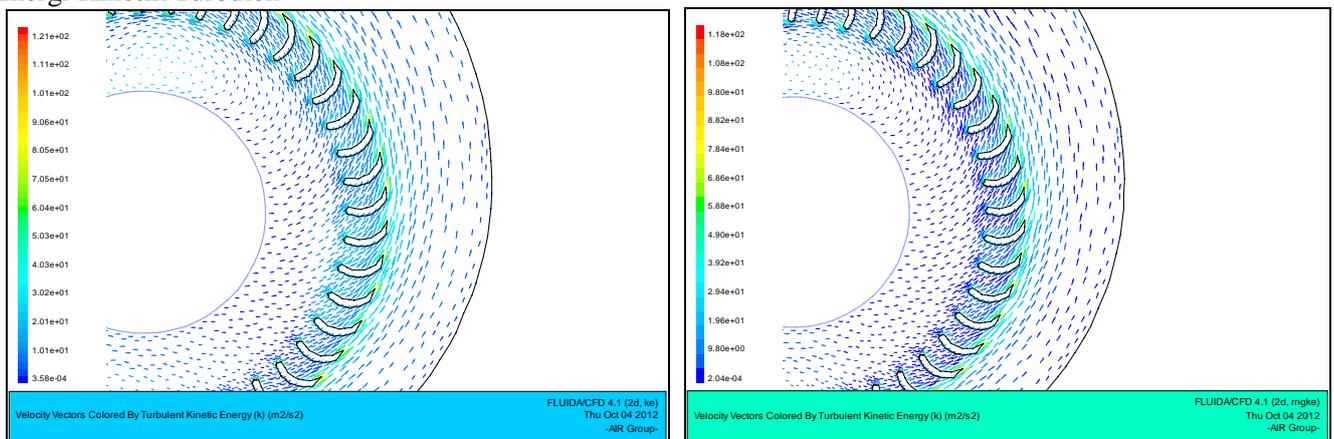
Gambar 6. Vektor Kecepatan (a) $k-\epsilon$ dan (b) RNG $k-\epsilon$

Vektor Tekanan



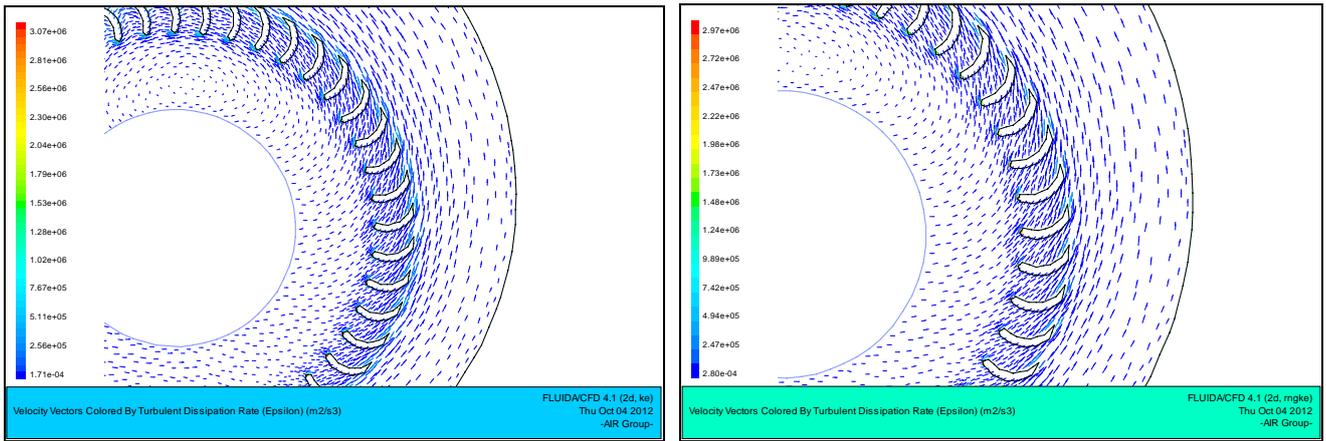
Gambar 7. Vektor Tekanan (a) $k-\epsilon$ dan (b) RNG $k-\epsilon$

Energi Kinetik Turbulen



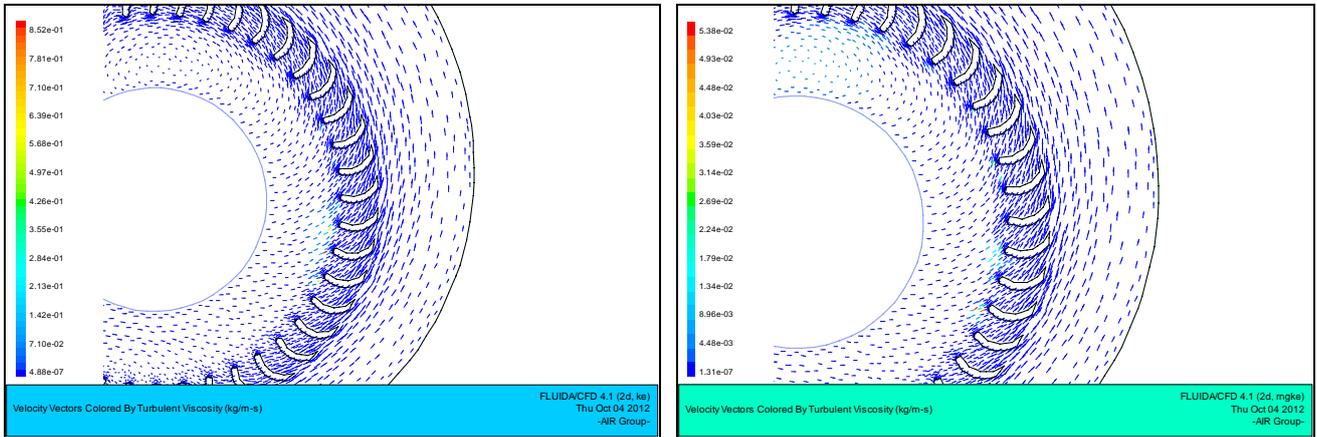
Gambar 8. Energi Kinetik Turbulen (a) $k-\epsilon$ dan (b) RNG $k-\epsilon$

Tingkat Disipasi Turbulen



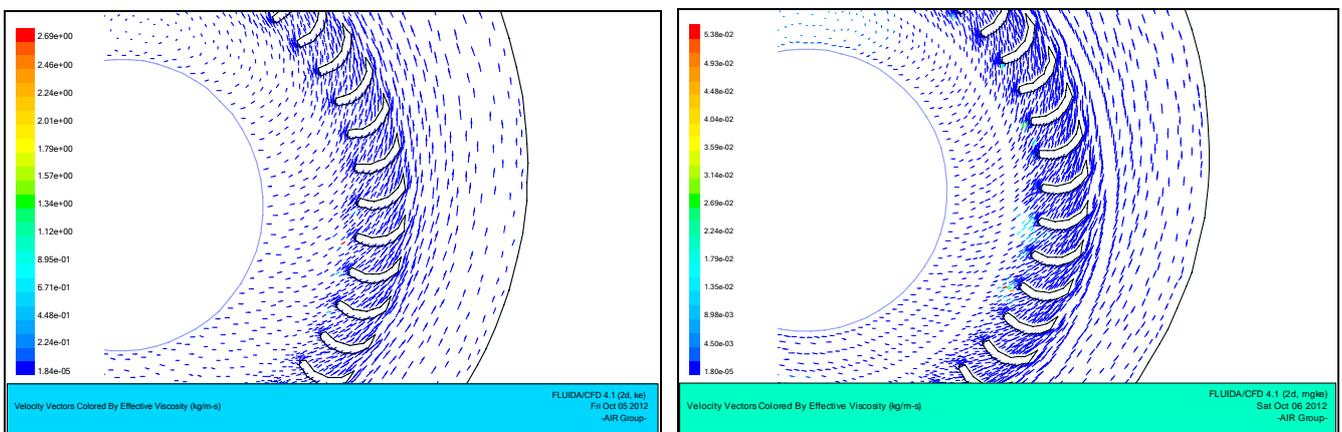
Gambar 9. Tingkat disipasi Turbulen (a) k-ε dan (b) RNG k-ε

Viskositas Turbulen

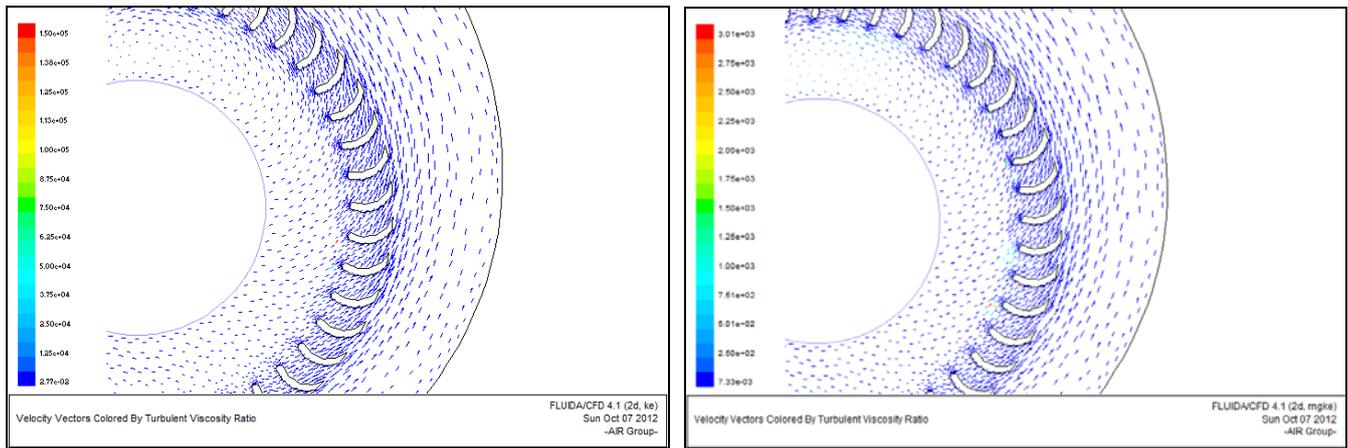


Gambar 10. Viskositas Turbulen (a) k-ε dan (b) RNG k-ε

Viskositas Efektif



Gambar 11. Viskositas Efektif (a) k-ε dan (b) RNG k-ε



Gambar 12. Rasio Viskositas Turbulen (a) $k-\varepsilon$ dan (b) RNG $k-\varepsilon$

Kesimpulan

Studi komparasi model turbulen $k-\varepsilon$ dan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ pada model blower menghasilkan kesimpulan bahwa model turbulen RNG $k-\varepsilon$ dapat melakukan prediksi dengan dengan lebih baik daripada model turbulen $k-\varepsilon$.

Hal ini antara lain disebabkan karena pada model RNG $k-\varepsilon$, rasio viskositas turbulen (*eddy viscosity*) yang terjadi lebih kecil, sehingga kecepatan alir dan rasio tekanan yang dihasilkan blower juga menjadi lebih besar. Meskipun energi kinetik turbulen yang dihasilkan lebih kecil, namun dengan tegangan geser yang lebih besar sebagai akibat penurunan energi kinetik mampu untuk menghasilkan kebutuhan energi yang diperlukan untuk menjaga turbulensi aliran.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Universitas Indonesia melalui skema penelitian Hibah Riset Awal UI – Tahun Anggaran 2012.

Referensi

- [1] Hiroshi Saito et al., "Micro Gas Turbines, Risk and Markets," in *IMA Conference*, Stockholm, 2003.
- [2] "More for Less: How Decentralized Energy Can deliver Cleaner, Cheaper, and More Efficient Energy in Nigeria," World Alliance for Decentralized Energy (WADE), 2009.
- [3] S.L. C.A. Hall Dixon, *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*, 6th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2010.

- [4] TQ-International, "Manual book GT85-2 Two Shaft Gas Turbine," Nottingham, 1982.
- [5] H. Tennekes and J.L. Lumley, *A First Course In Turbulence*, 3rd ed. USA: MIT Press, 1974.
- [6] Budugur Lakshminarayana, *Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery*. USA: John Wiley& Sons, Inc., 1996.
- [7] Jong Joon Lee, Jae Eun Yoon, Tong Seop Kim, and Jeong L. Sohn, "Performance Test and Component Characteristic Evaluation of a Micro Gas Turbines," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 141-152, 2007.
- [8] Teymour Javaherchi, "Review of Spalart-Allmaras Turbulence Model and its Modifications," March 12, 2010.