



Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin *Cross-Flow* Dengan Model Turbulen $k-\epsilon$ STD dan RNG $k-\epsilon$

CFD Simulation Comparative Study on Cross-Flow Turbine with STD $k-\epsilon$ and RNG $k-\epsilon$ Turbulence Models

Juan Setiawan*, Steven Darmawan dan Harto Tanujaya

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta Barat 11440, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
02/03/2022
Direvisi:
24/04/2022
Disetujui:
11/05/2022

Abstract

The cross-flow turbine is one of widely used impulse turbine in power generator system due to its simple design and ability to be applied to a wide range of head and flow conditions. The flow in a cross-flow turbine flows in a crossed manner and works in 2 stages which could affect the turbine's performance. Hence the visualization of these flow behavior could indicate the performance. Complexity of the flow inside the runner require the usage of CFD Method to visualize the flow, leaving the gap since numerical model also rely on turbulence model. The purpose of this study is to analyze the flow pattern in the nozzle and runner on a cross-flow turbine using the RNG $k-\epsilon$ turbulence model in ANSYS 2021 R2 Academic Version software. The simulation was carried out with 5 variations of nozzle inlet velocity: 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s and 6.487 m/s. The working fluid is assumed to be 1 phased water, with nozzle inlet pressure of 1.05 Pa, temperature of 24.85 °C and RNG $k-\epsilon$ turbulence model which compared to STD $k-\epsilon$ turbulence model from the previous study. The results show that the simulation with the RNG $k-\epsilon$ turbulent models resulted in differences in the velocity and pressure profiles of Stage 1 of 3.353% and 87.679% and Stage 2 of 13.653% and 21.826% compared to simulation with $k-\epsilon$ STD models.

Keywords: cross-flow runner, CFD Simulation, RNG $k-\epsilon$ turbulence model.

Abstrak

Turbin *cross-flow* merupakan turbin *impuls* yang umum digunakan dalam sistem pembangkit listrik karena memiliki desain yang sederhana dan mampu diaplikasikan pada berbagai kondisi *head* dan *flow*. Aliran dalam turbin *cross-flow* mengalir secara menyilang dan bekerja dalam 2 *stage* yang mempengaruhi performa turbin. Performa turbin dapat dianalisa melalui visualisasi aliran yang terjadi pada *runner*. Karena rumitnya aliran yang terjadi dalam *runner* turbin *cross-flow*, diperlukan penggunaan metode numerik CFD untuk mempermudah proses analisa aliran. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pola aliran di dalam *nozzle* dan *runner* pada turbin *cross-flow* dengan menggunakan *software ANSYS 2021 R2 Academic Version*. Simulasi dilakukan dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$ dalam 5 variasi kecepatan *inlet nozzle*: 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s dan 6,487 m/s. Fluida kerja merupakan air dengan keadaan satu fasa, dengan tekanan pada *inlet* 1,05 Pa dan temperatur 24,85 °C. Selanjutnya, hasil simulasi dikomparasi dengan hasil simulasi dengan model turbulen STD $k-\epsilon$. Diperoleh kesimpulan bahwa simulasi dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$ menghasilkan perbedaan pada profil kecepatan dan tekanan *Stage 1* sebesar 3,353% dan 87,679% dan *Stage 2* sebesar 13,653% dan 21,826% dengan hasil simulasi menggunakan model $k-\epsilon$ STD.

Kata Kunci: runner turbin cross-flow, simulasi CFD, model turbulen RNG $k-\epsilon$.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: -
email : juan.515180026@stu.untar.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Turbin merupakan salah satu komponen inti dari sistem pembangkit listrik tenaga air. Efisiensi turbin didefinisikan sebagai rasio daya yang diekstraksi dari air dengan produk laju aliran massa, gravitasi, dan *head* yang tersedia di turbin (Adhikari dan Wood, 2018). Turbin *cross-flow* umum digunakan dalam sistem pembangkit listrik jarak jauh di negara berkembang. Turbin jenis ini memiliki efisiensi yang berkisar antara 70-85% (Desai, 1993).

Meskipun memiliki efisiensi yang lebih rendah dibanding jenis turbin lain, turbin *cross-flow* umum digunakan karena dapat diaplikasikan pada rentang aliran yang bervariasi, dan dapat digunakan pada aplikasi *low head* (Ghosh dan Prelas, 2011). Efisiensi turbin *cross-flow* memiliki hubungan yang jelas dengan peningkatan daya yang dihasilkan pembangkit listrik dan pengurangan biaya operasional sistem (Adhikari dan Wood, 2018).

Efisiensi turbin *cross-flow* bergantung pada beberapa parameter geometris, seperti rasio diameter *runner*, sudut *nozzle*, *guide vanes*, jumlah *blades*, sudut tumbuk, dan sudut *inlet* serta keluar *blades* (Oliy dan Ramayya, 2017). Aliran silang pada turbin *cross-flow* berperan penting dalam menimbulkan kontraksi yang menyebabkan fluida mengalir dari tahap pertama ke tahap kedua pada turbin *cross-flow* (Zdravec, Basic dan Hribersek, 2007). Pada umumnya, fluida (udara, air, dll.) berwarna transparan, sehingga pola alirannya tidak dapat dilihat langsung tanpa beberapa metode khusus (Mukhlisin, Erwin dan Wiyono, 2022). Rumitnya aliran pada bagian dalam *runner* turbin *cross-flow* membutuhkan suatu analisis dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk dapat mencapai hasil yang optimal (Tanujaya dan Darmawan, 2021).

Dalam simulasi menggunakan metode CFD, diperlukan model turbulensi untuk mendefinisikan fenomena turbulensi dalam aliran agar dapat diselesaikan oleh komputer. Model turbulensi merupakan perumusan matematis yang digunakan untuk mendapatkan solusi dari persamaan gerak rata-rata (Gibson, 2011). *Software ANSYS FLUENT R2 2021 Student Edition* sendiri menyediakan beberapa permodelan, diantaranya adalah model

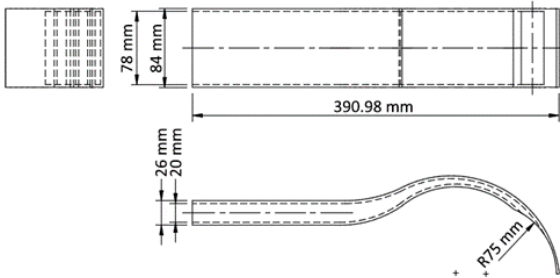
turbulensi $k-\varepsilon$ STD yang digunakan dalam penelitian sebelumnya oleh Sardjono dkk. (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020) dan model turbulensi RNG $k-\varepsilon$ yang dapat memberikan hasil yang lebih baik pada aliran berputar (Darmawan dan Tanujaya, 2019).

Model turbulensi RNG $k-\varepsilon$ merupakan perbaikan dari metode $k-\varepsilon$ STD. Model RNG $k-\varepsilon$ menggunakan bentuk persamaan yang digunakan sama dengan metode STD $k-\varepsilon$, namun memiliki beberapa pengembangan dari metode STD $k-\varepsilon$. Pengembangan tersebut meliputi:

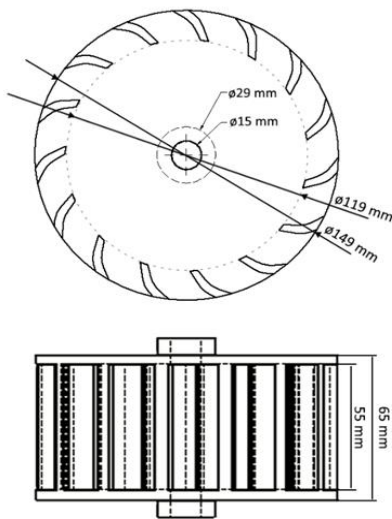
- 1) Pada model RNG $k-\varepsilon$ terdapat besaran tambahan pada persamaan laju disipasi (Epsilon), sehingga mampu meningkatkan akurasi untuk aliran yang terhalang secara tiba-tiba.
- 2) Model RNG $k-\varepsilon$ menyertakan efek putaran pada turbulensi dalam perhitungan, sehingga meningkatkan akurasi pada jenis aliran yang berputar (*swirling flow*).
- 3) Model RNG $k-\varepsilon$ menyediakan formulasi untuk bilangan Reynolds rendah, sedangkan model standard hanya menyediakan untuk bilangan Reynolds tinggi.
- 4) Terdapat formulasi analitis untuk bilangan Prandtl turbulensi, sementara model STD $k-\varepsilon$ menggunakan nilai bilangan Prandtl konstan (Angkasa, 2016; ANSYS, 2013).

Selanjutnya, fitur-fitur ini membuat model RNG $k-\varepsilon$ lebih akurat dan handal untuk berbagai jenis aliran dibandingkan model $k-\varepsilon$ STD (ANSYS, 2013).

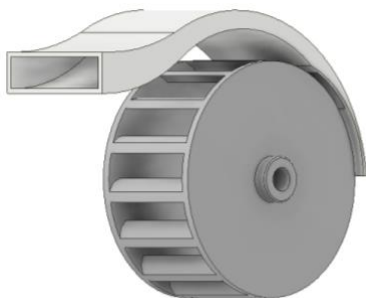
Model geometri turbin *cross-flow* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari *nozzle* dan *runner* dengan dimensi dan geometri yang sama dengan penelitian sebelumnya dengan dimensi *Nozzle*: panjang total (l) = 390,98 mm, lebar (w) = 84 mm, inlet (A_1) = 78 mm x 20 mm, dan outlet (A_2) = 78 mm x 20 mm seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020). Geometri *runner* (lihat Gambar 2): diameter total (D) = 149 mm, diameter poros (d_1) = 15 mm, diameter dalam *blade* (d_2) = 65 mm, jumlah *blade* (n) = 15 dan $\alpha_1 = 16^\circ$. Selanjutnya komponen *nozzle* dan *runner* di-assembly membentuk geometri turbin *cross-flow* seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 1. Geometri nozzle



Gambar 2. Geometri runner



Gambar 3. Assembly nozzle dan runner

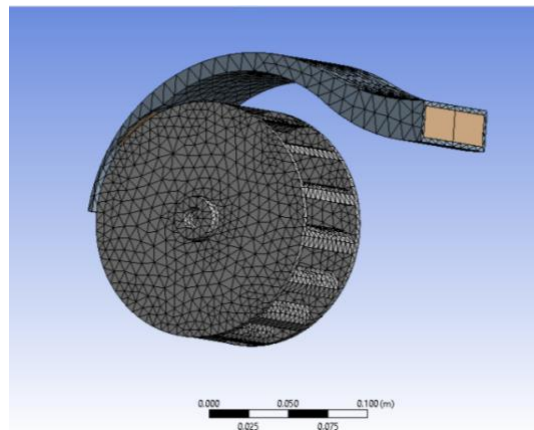
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis model turbulen $k-\varepsilon$ yang digunakan terhadap hasil simulasi pada turbin *cross-flow*. Dilakukan komparasi antara hasil simulasi yang dilakukan dengan model RNG $k-\varepsilon$ pada penelitian ini dan simulasi dengan model $k-\varepsilon$ STD yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020). Kedua simulasi yang dikomparasi dilakukan dengan variasi data kecepatan dan putaran sebesar 2 m/s 300 rpm

(variasi 1), 3 m/s 450 rpm (variasi 2), 4 m/s 600 rpm (variasi 3), 5 m/s 750 rpm (variasi 4), dan 6,487 m/s 1000 rpm (variasi 5).

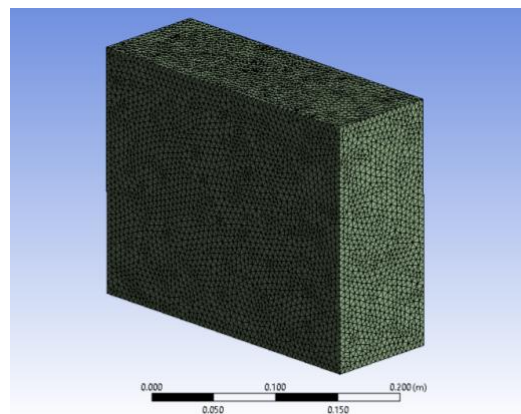
2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan metode simulasi numerik yang dilakukan pada objek 3 dimensi berupa *nozzle* dan *runner* turbin *cross-flow*. Simulasi dilakukan melalui *software ANSYS FLUENT 2021 R2* dengan model turbulen RNG $k-\varepsilon$, material fluida kerja H_2O Liquid kondisi 1 fasa, material *solid* aluminium, dan 5 variasi input data kecepatan *inlet nozzle* dan kecepatan putaran *runner*.

Mesh yang digunakan dalam simulasi adalah jenis campuran antara *polyhedron* dan *tetrahedron* yang diolah melalui *software ANSYS MESH* dengan jumlah nodal 71.506 dan jumlah elemen 359.280 seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Mesh pada turbin *cross-flow*



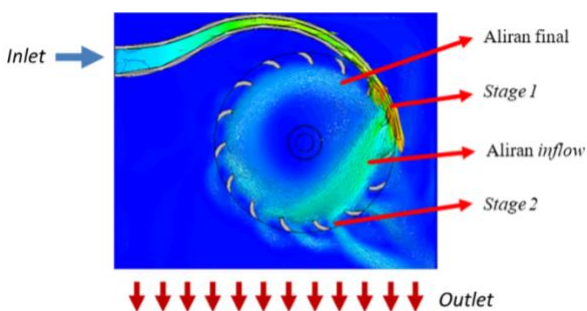
Gambar 5. Mesh pada enclosure turbin *cross-flow*

Simulasi dilakukan dengan jumlah perhitungan sebanyak 2000 iterasi. Akurasi simulasi diukur melalui kontur pola aliran fluida kerja dalam turbin yang berbentuk menyilang dan selisih *flux mass flow rate* pada *inlet* dan *outlet* turbin. Variasi *boundary condition* yang digunakan dalam simulasi terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. *Boundary condition* simulasi

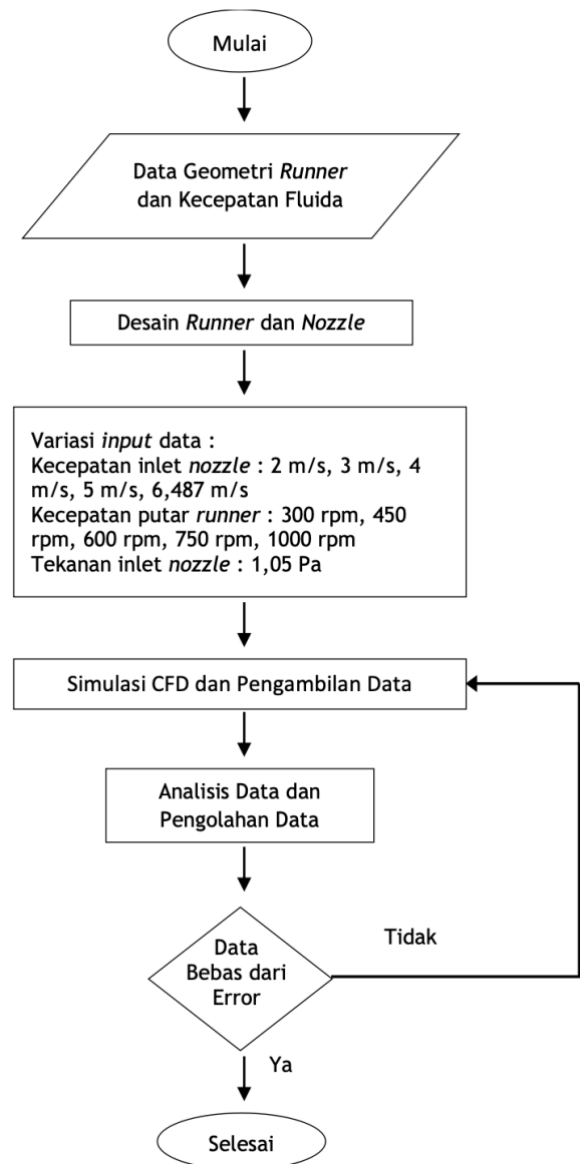
Var.	Parameter			
	Inlet Vel. (m/s)	Inlet Pressure (Pa)	Runner Speed (rpm)	Temp. (°C)
1	2		300	
2	3		450	
3	4	1,05	600	24,85
4	5		750	
5	6,487		1000	

Data penelitian yang diambil dari hasil simulasi terbagi menjadi beberapa parameter aliran, yaitu kecepatan dan tekanan yang ditampilkan dalam bentuk *velocity vector* dan *pressure contour*. Pola aliran yang terjadi pada turbin ditampilkan pada tampak samping dari sumbu Y+ dan dibagi menjadi 4 *stage*, yaitu: *Stage 1*, Aliran *Inflow*, *Stage 2*, dan Aliran *Final* seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Pembagian *stage* aliran pada *runner turbin cross-flow*



Gambar 6. Pembagian *stage* aliran pada *runner turbin cross-flow*

Tahapan penelitian ini secara keseluruhan dijabarkan dalam diagram alir penelitian yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

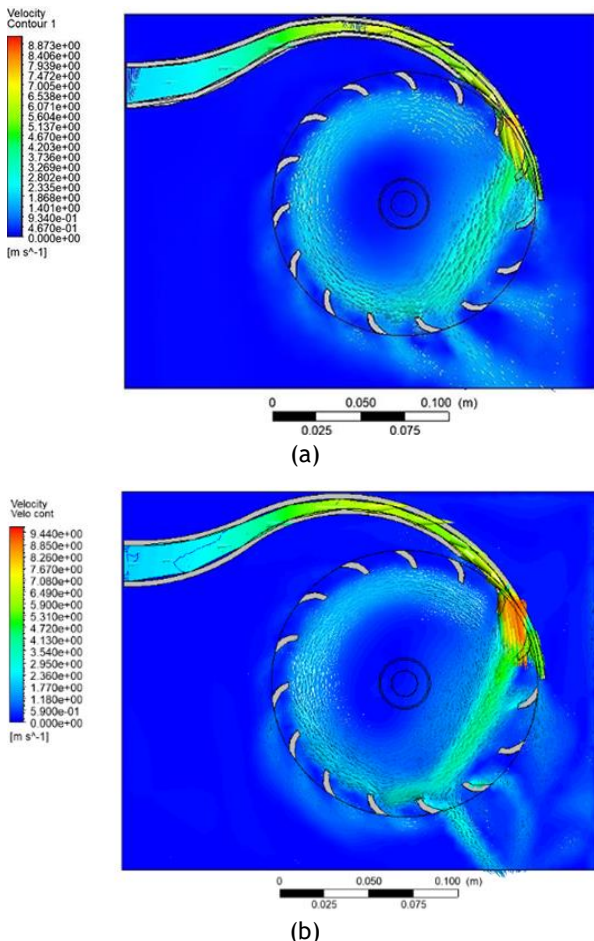
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diambil dari simulasi CFD berupa kecepatan dan tekanan yang terjadi pada aliran fluida kerja di dalam *runner* yaitu kecepatan dan tekanan ditampilkan dalam bentuk *velocity vector* dan *pressure contour*. Kemudian dilakukan pengambilan sampel tekanan dan kecepatan pada koordinat yang sama pada setiap *stage* aliran pada turbin untuk setiap variasi kecepatan dan pada kedua model turbulen yang digunakan.

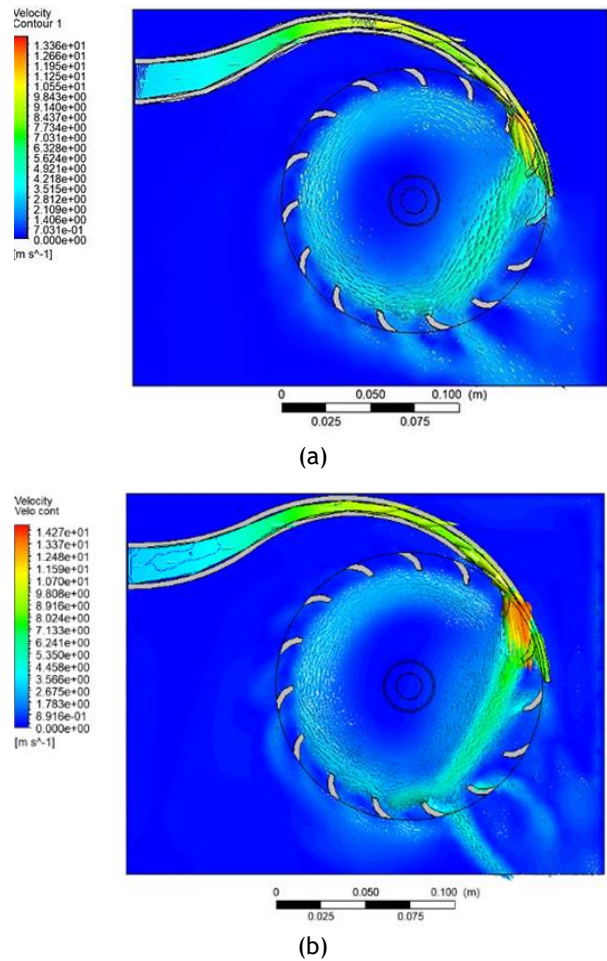
Selanjutnya, data sampel, *velocity vector* dan *pressure contour* hasil simulasi menggunakan model turbulen RNG $k-\epsilon$ dikomparasi dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Sardjono dkk. (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020) dengan menggunakan model turbulen model STD $k-\epsilon$.

3.1. Profil Kecepatan

Hasil simulasi turbin *cross-flow* dengan kelima variasi kecepatan ditampilkan dalam bentuk *velocity contour*. Kemudian dilakukan komparasi antara hasil simulasi yang telah dilakukan dengan model RNG $k-\epsilon$, dan simulasi sebelumnya dengan model $k-\epsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020). Perbandingan *velocity contour* yang dihasilkan kedua metode $k-\epsilon$ dapat dilihat pada Gambar 8 hingga Gambar 12.

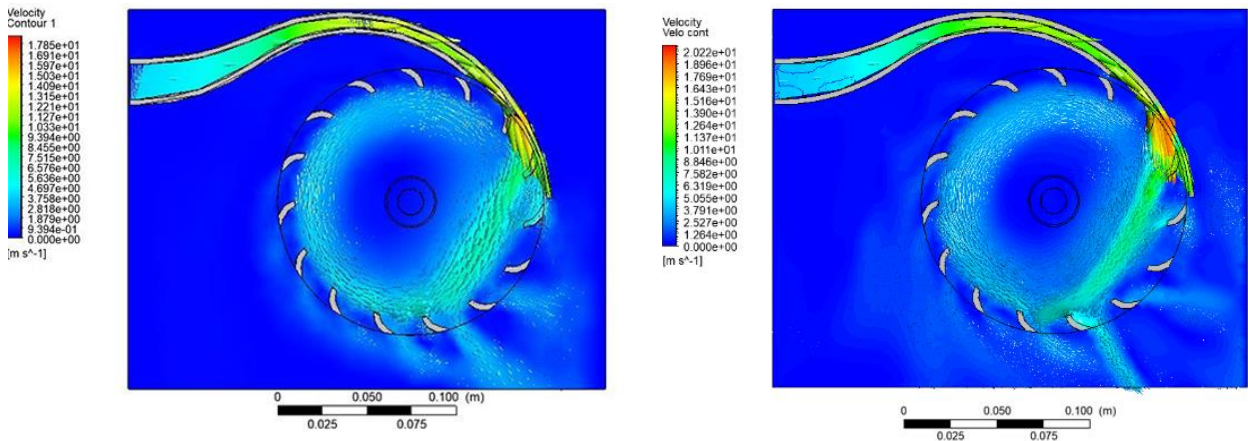


Gambar 8. Vektor kecepatan pada kondisi 2 m/s 300 rpm (a) model STD $k-\epsilon$ (b) model RNG $k-\epsilon$



Gambar 9. Vektor kecepatan pada kondisi 3 m/s 450 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$

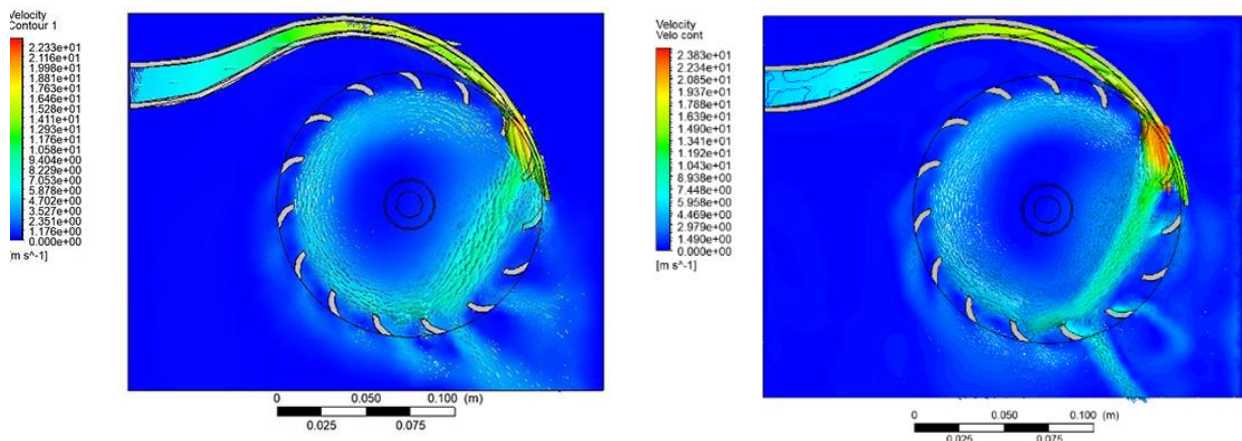
Berdasarkan vektor kecepatan hasil simulasi pada Gambar 8 hingga Gambar 12, dapat dilihat bahwa pancaran air yang keluar dari *nozzle* pada model simulasi RNG $k-\epsilon$ lebih fokus, karena ukuran *mesh* yang lebih detail pada bagian *nozzle* dan *enclosure*. Pancaran air pada simulasi dengan model RNG $k-\epsilon$ terlihat lebih fokus dengan lebar aliran yang lebih kecil dibandingkan simulasi sebelumnya dengan model $k-\epsilon$ STD yang terlihat samar-samar pada sisi aliran, hal ini dapat berpengaruh pada kecepatan fluida yang masuk ke dalam *runner* yang meningkat. Selain itu, pada simulasi dengan model RNG $k-\epsilon$ profil aliran air yang berputar di dalam *runner* tampak lebih jelas karena model RNG $k-\epsilon$ mampu mendeskripsikan aliran turbulen dengan lebih baik dibandingkan dengan model $k-\epsilon$ STD.



(a)

(b)

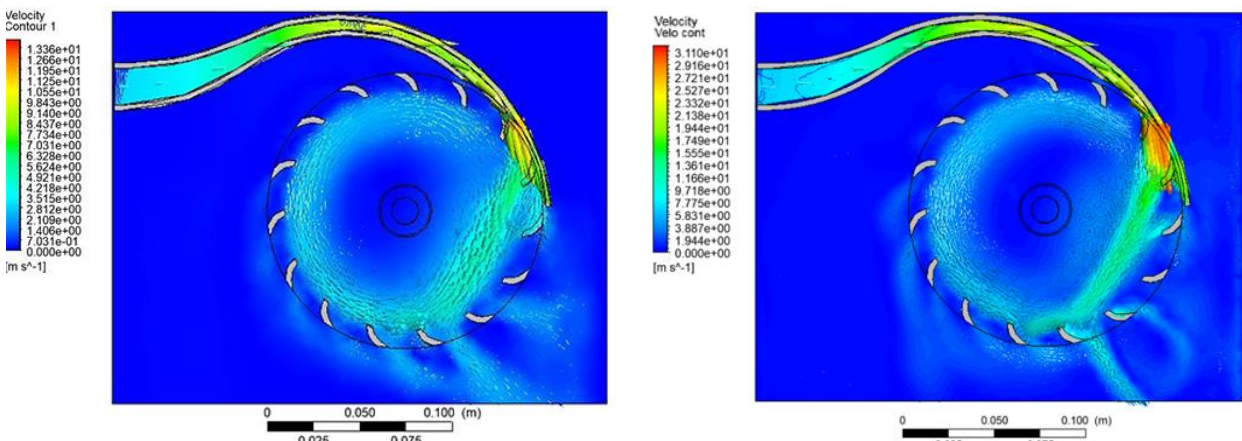
Gambar 10. Vektor kecepatan pada kondisi 4 m/s 600 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



(a)

(b)

Gambar 11. Vektor kecepatan pada kondisi 5 m/s 750 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



(a)

(b)

Gambar 12. Vektor kecepatan pada kondisi 6,487 m/s 1000 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$

Dilakukan pengambilan nilai kecepatan pada 4 lokasi *velocity contour* dengan titik koordinat pengambilan data *Stage 1* (0.0625, 0.036, 0.03) m; *Stage 2* (0.025, -0.07, 0.03) m; Aliran *Inflow* (0.043, -0.02, 0.03) m; dan Aliran *Final* (0.02, 0.05, 0.03) m. Selanjutnya dilakukan perbandingan kecepatan pada area pengambilan sampel dengan data hasil simulasi dengan model $k-\varepsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020). Data hasil simulasi dengan model turbulen RNG $k-\varepsilon$ dan metode $k-\varepsilon$ STD ditampilkan pada dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kecepatan pada hasil simulasi dengan metode RNG $k-\varepsilon$

Var.	Kecepatan (m/s)			
	Stage 1	Aliran Inflow	Stage 2	Aliran Final
1	5,6735	3,8787	2,1468	1,4502
2	8,5986	5,6521	3,0612	2,1998
3	12,0406	7,9456	4,0228	2,9321
4	14,3699	9,2248	4,8674	3,5013
5	18,6211	13,3436	6,6156	4,5583

Tabel 3. Kecepatan pada hasil simulasi dengan metode $k-\varepsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020)

Var.	Kecepatan (m/s)			
	Stage 1	Aliran Inflow	Stage 2	Aliran Final
1	5,5920	1,8381	2,9784	1,3730
2	9,0368	5,3488	3,2933	1,2097
3	11,2539	5,9889	3,7246	2,7282
4	14,0851	7,4879	4,6029	3,3935
5	18,3016	9,7051	6,0143	4,4416

Berdasarkan data yang diperoleh pada pengambilan sampel, diketahui bahwa pada seluruh variasi, kecepatan aliran pada Aliran *Inflow* pada simulasi dengan model RNG $k-\varepsilon$ lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi dengan model $k-\varepsilon$ STD. Hal ini disebabkan karena

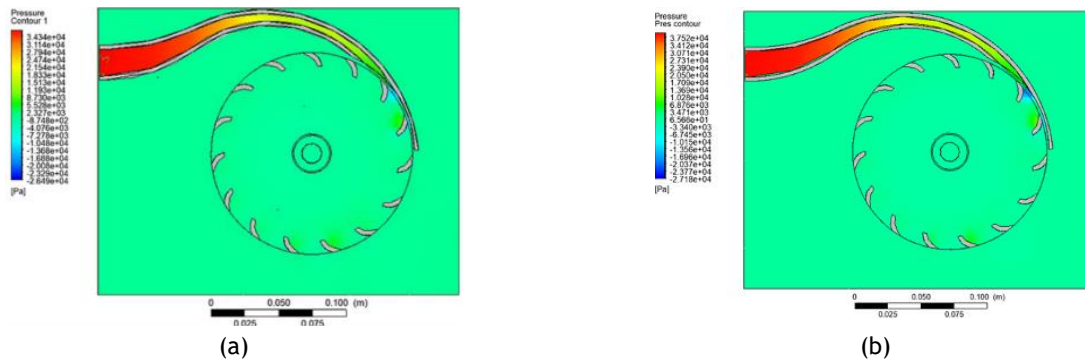
pancaran air keluar dari *nozzle* yang lebih fokus pada simulasi dengan metode RNG $k-\varepsilon$, sehingga kecepatan aliran menjadi lebih tinggi. Kecepatan Aliran Final pada simulasi dengan model RNG $k-\varepsilon$ juga meningkat dibandingkan dengan simulasi dengan model $k-\varepsilon$ STD, hal ini dikarenakan pada aliran pada titik ini memiliki inersia yang lebih rendah karena telah melalui kedua *stage* tumbukan dengan *runner*, sehingga aliran memiliki nilai Bilangan Reynolds rendah yang sebelumnya tidak diformulasikan secara khusus pada simulasi dengan model $k-\varepsilon$ STD.

Kedua hasil simulasi memiliki perbedaan nilai yang relatif kecil dengan rata-rata perbedaan kecepatan terkecil pada aliran *Stage 1* sebesar 3,353%, selain itu, terdapat perbedaan pada *Stage 2* sebesar 13,653% dan Aliran Final sebesar 12,585%. Perbedaan dengan nilai paling signifikan dari hasil simulasi kedua model $k-\varepsilon$ yang digunakan terjadi pada Aliran *Inflow* dengan rata-rata perbedaan data sebesar 25,740%. Dapat dilihat pada vektor kecepatan yang dihasilkan, pada aliran *inflow* terjadi aliran yang turbulen akibat tumbukan fluida yang keluar dari *nozzle* dengan bilah *runner*. Fenomena turbulensi ini dapat digambarkan secara lebih akurat oleh metode RNG $k-\varepsilon$ karena pada model turbulen ini, terdapat suku yang memperdiksi vortex resirkulasi secara khusus yang tidak tersedia pada metode $k-\varepsilon$ STD.

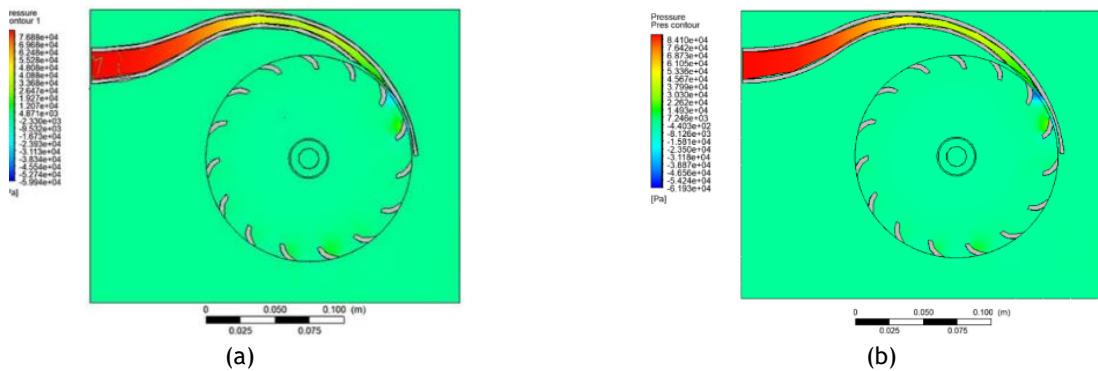
3.2. Profil Tekanan

Hasil simulasi turbin *cross-flow* dengan kelima variasi kecepatan ditampilkan dalam bentuk *pressure contour*. Perbandingan *pressure contour* yang dihasilkan kedua metode $k-\varepsilon$ dapat dilihat pada Gambar 13 hingga Gambar 17.

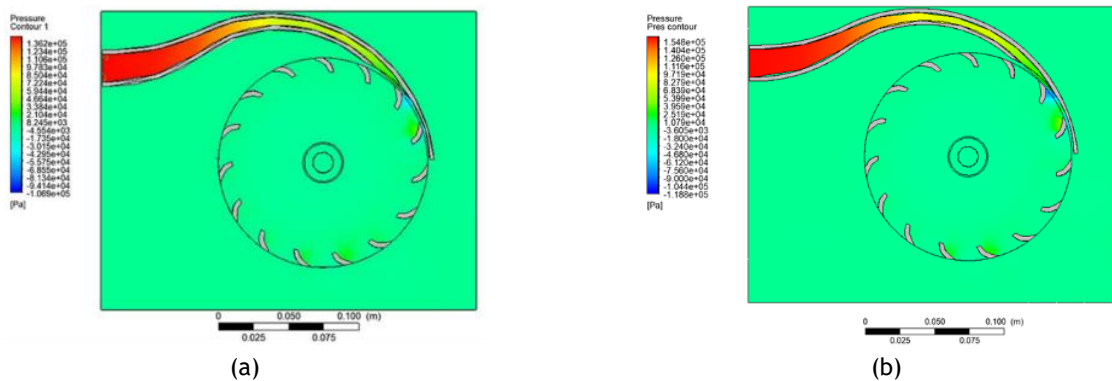
Ditinjau dari *pressure contour* hasil simulasi pada penelitian dengan kedua model turbulen $k-\varepsilon$ di atas, dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara profil kontur tekanan yang terjadi pada kedua hasil simulasi. Akan tetapi, terdapat perbedaan besar tekanan yang terjadi dalam *runner* yang dapat dilihat dari perbedaan besar angka yang ditampilkan pada skala gambar. Pada simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini, nilai tekanan yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan metode $k-\varepsilon$ STD.



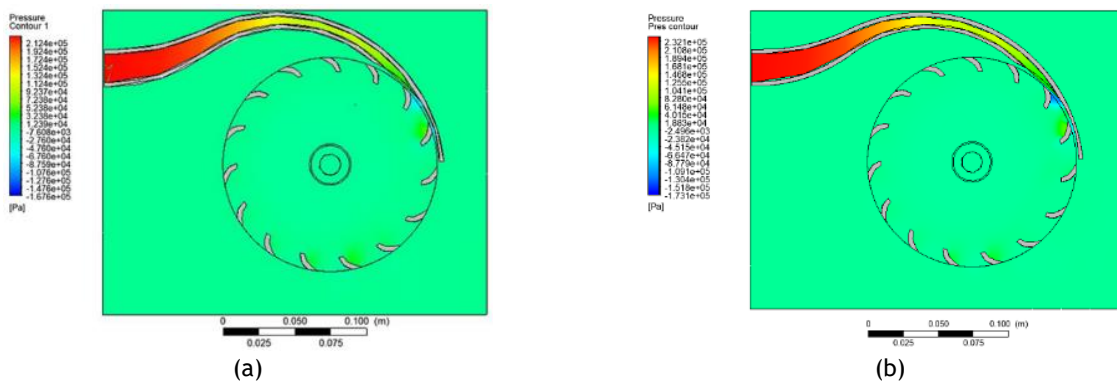
Gambar 13. *Pressure contour* pada kondisi 2 m/s 300 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



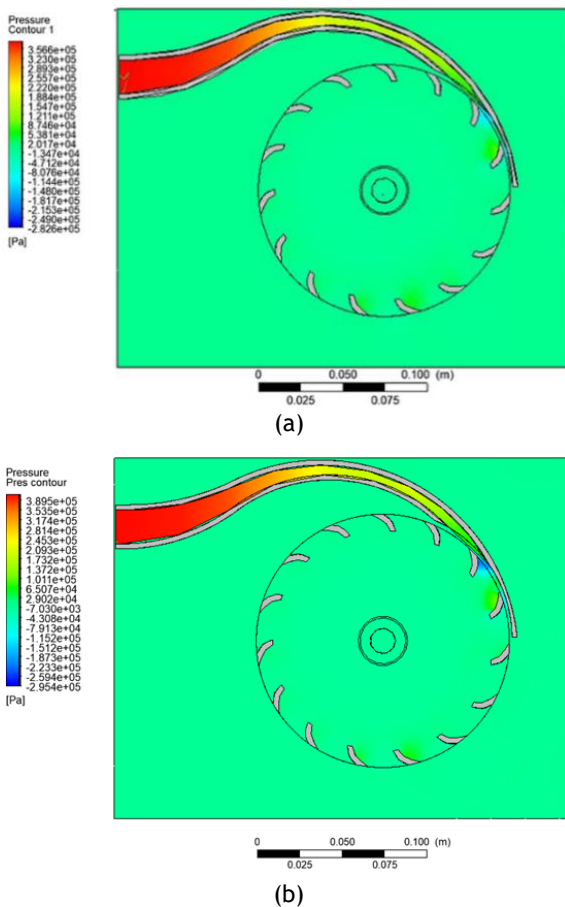
Gambar 14. *Pressure contour* pada kondisi 3 m/s 450 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



Gambar 15. *Pressure contour* pada kondisi 4 m/s 600 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



Gambar 16. *Pressure contour* pada kondisi 5 m/s 750 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$



Gambar 17. Pressure contour pada kondisi 6,487 m/s 1000 rpm (a) model $k-\epsilon$ STD (b) model RNG $k-\epsilon$

Selanjutnya, dilakukan pengambilan sampel nilai tekanan pada 4 lokasi *pressure contour* dengan titik koordinat pengambilan data *Stage 1* (0,0625; 0,036; 0,03) m; *Stage 2* (0,025; -0,07; 0,03) m; Aliran Inflow (0,043; -0,02; 0,03) m; dan Aliran Final (0,02; 0,05; 0,03) m. Data hasil simulasi pada profil tekanan dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$ dan model turbulen $k-\epsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020) ditampilkan dalam Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan komparasi data hasil simulasi dengan metode RNG $k-\epsilon$ dengan metode $k-\epsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020), dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil simulasi, terutama pada aliran *Stage 1* dengan rata-rata perbedaan data 87,679%.

Perbedaan tekanan yang signifikan pada *stage 1* ini disebabkan karena perbedaan ukuran *mesh* yang digunakan pada *nozzle* turbin yang lebih detil (1 mm) dibanding dengan percobaan sebelumnya dengan ukuran *mesh* pada *nozzle* (50 mm). Perbedaan ukuran *mesh* ini menyebabkan

perubahan yang signifikan pada pancaran air yang keluar dari *nozzle* yang menjadi lebih fokus dan tidak terpecah, sehingga terjadi peningkatan tekanan secara signifikan pada *stage 1*.

Tabel 4. Tekanan pada hasil simulasi dengan metode RNG $k-\epsilon$

Var.	Tekanan (Pa)			
	Stage 1	Aliran Inflow	Stage 2	Aliran Final
1	-1875,62	-183,121	1121,01	-261,151
2	-4120,86	-1022,37	3791,4	-658,485
3	-7123,51			-1201,14
4	-11710,6	-1053,84	5358,96	-1619,51
5	-20547,8	-1783,65	11340,3	-2711,74

Tabel 5. Tekanan pada hasil simulasi dengan metode $k-\epsilon$ STD (Sardjono, Darmawan dan Tanujaya, 2020)

Var.	Kecepatan (m/s)			
	Stage 1	Aliran Inflow	Stage 2	Aliran Final
1	-3363,72	-186,685	1186,62	-204,349
2	-8638,04	-399,368	3016,2	-555,752
3	-13628,1	-723,541	4830,35	-833,995
4	-21383,6	-1144,57	7519,28	-1288,66
5	-36067,2	-1805,56	12609,9	-2189,49

Selain itu, terdapat perbedaan data tekanan pada Aliran Inflow sebesar 10,167%. Stage 2 sebesar 21,826%, dan Aliran Final sebesar 21,521%.

4. SIMPULAN

Simulasi dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$ memberikan gambaran fenomena aliran dalam *nozzle* dan *runner* turbin cross-flow dengan lebih detil. Hal ini terbukti dari gambaran *velocity contour* hasil simulasi dengan model turbulen RNG $k-\epsilon$ yang memberikan gambaran lebih jelas dan detil mengenai hasil simulasi turbin *cross-flow* dibandingkan dengan simulasi dengan metode $k-\epsilon$ STD. Terdapat perbedaan pada profil kecepatan *Stage 1* sebesar 3,353%, Aliran Inflow sebesar 25,740%, *Stage 2* sebesar 13,653%, dan Aliran Final

sebesar 12,585%. Sedangkan pada profil tekanan terdapat perbedaan data pada *Stage 1* sebesar 87,679%, Aliran *Inflow* sebesar 10,167%. *Stage 2* sebesar 21,826%, dan Aliran *Final* sebesar 21,521%.

Simulasi dengan model turbulen RNG k-ε memberikan gambaran fenomena aliran dalam *nozzle* dan *runner* turbin *cross-flow* dengan lebih detail. Hal ini terbukti dari gambaran *velocity contour* hasil simulasi dengan model turbulen RNG k-ε yang memberikan gambaran lebih jelas dan detail mengenai hasil simulasi turbin *cross-flow* dibandingkan dengan simulasi dengan metode k-ε STD. Terdapat perbedaan pada profil kecepatan *Stage 1* sebesar 3,353%, Aliran *Inflow* sebesar 25,740%, *Stage 2* sebesar 13,653%, dan Aliran *Final* sebesar 12,585%. Sedangkan pada profil tekanan terdapat perbedaan data pada *Stage 1* sebesar 87,679%, Aliran *Inflow* sebesar 10,167%. *Stage 2* sebesar 21,826%, dan Aliran *Final* sebesar 21,521%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, R. dan Wood, D. (2018) 'The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension', *Energies*, 11(2), hal. 267-285.
- Angkasa, A. (2016) 'Analisis Model Turbulen Pada Backward Facing Step Dengan Bilangan Reynolds Tinggi (RE= 38.000) Dan Kecepatan Aliran/U_∞= 44.2 M/S', *ELEMEN: Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), hal. 23-26.
- ANSYS, F. (2013) 'ANSYS FLUENT Theory Guide. Release 18.2, 15317 (November)'.
- Darmawan, S. dan Tanujaya, H. (2019) 'CFD Investigation of Flow Over a Backward-facing Step using an RNG k-ε Turbulence Model', *Mechanical Engineering*, 10(2), hal. 280-289.
- Desai, V.R. (1993) *A parametric study of the cross-flow turbine performance*. Clemson University.
- Ghosh, T.K. dan Prelas, M.A. (2011) *Energy Resources and Systems* | SpringerLink. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-1402-1> (diakses: 7 January 2020), [Cetak].
- Gibson, M.M. (2011) *Turbulence Modeling*, Thermopedia. Available at: <https://www.thermopedia.com/content/1225/> (diakses: 7 March 2022).
- Mukhlisin, A., Erwin, E. dan Wiyono, S. (2022) 'Rancang Bangun Smoke Generator pada Kecepatan Angin Rendah dengan Wind Tunnel Rangkaian Terbuka', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa & Inovasi*, 4(1), hal. 81-88.
- Oliy, G.B. dan Ramayya, A.V. (2017) 'Design and Computational Fluid Dynamic Simulation Study of High Efficiency Cross Flow Hydro-power Turbine', *International Journal of Science, Technology and Society*, 5(4), hal. 120-125.
- Sardjono, J.A., Darmawan, S. dan Tanujaya, H. (2020) 'Flow investigation of cross-flow turbine using CFD method', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, hal. 012035.
- Tanujaya, H. dan Darmawan, S. (2021) 'Investigation of Flow of the Disc-and-Doughnut Baffles and 40% Cut Segmental Baffles', *Journal homepage: http://iieta.org/journals/ijht*, 39(5), hal. 1541-1548.
- Zdravec, M., Basic, S. dan Hribersek, M. (2007) 'The influence of rotating domain size in a rotating frame of reference approach for simulation of rotating impeller in a mixing vessel', *Journal of Engineering Science and Technology*, 2(2), hal. 126-138.