

Kajian literatur pemodelan turbulen turbin piko hidro jenis propeller

Warjito^a, Budiarmo^{1,a}, Dendy Adanta^a, Muhammad Mizan^a, Aji Putro Prakoso^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok

¹budiarmo@ui.ac.id

ABSTRACT

Aliran turbulen merupakan aliran yang tidak beraturan sehingga aliran ini sangat sulit untuk dianalisis, baik itu property aliran yaitu kecepatan yang di dekat dinding maupun di tengah terjadi tingkat fluktuasi aliran yang sangat tinggi dan memiliki bilangan Reynolds yang cukup tinggi (>2000). Kajian ini bertujuan untuk mempertimbangkan jenis pemodelan turbulen yang cocok diaplikasikan pada simulasi CFD untuk turbin pikohidro tipe propeller. Model pemodelan turbulen yang cocok dikaji dengan membandingkan hasil simulasi CFD dengan data hasil eksperimen. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemodelan turbulen yang sesuai untuk turbin air pikohidro adalah pemodelan Reynolds Stress Model (RSM) $k-\epsilon$.

Keywords: Aliran turbulen, pemodelan, pikohidro, propeller, RSM $k-\epsilon$

Diterima 30 September 2023; **Dipresentasikan** 5 Oktober 2023; **Publikasi** 27 Mei 2024

PENDAHULUAN

Piko hidro merupakan pembangkit listrik energi air dengan kapasitas listrik maksimal 5 kilo Watt [1]. Beberapa studi mengungkapkan bahwa piko hidro merupakan pembangkit listrik energi baru terbarukan sangat cocok diperuntukan untuk daerah terpencil yang memiliki energi air [2-6]. Mengingat fungsi piko hidro merupakan pembangkit listrik yang sangat penting untuk daerah terpencil karena untuk elektrifikasi, maka dibutuhkan metode penghematan dalam perancangan yang harus dilakukan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi salah satu metode dengan menggunakan analisa CFD. Budiarmo mengkaji untuk turbin air piko hidro dengan tipe propeller yang cocok diterapkan di Indonesia [7].

Keberhasilan komputasi sangat bergantung kepada pengguna, di mana ketepatan pemilihan jenis pemodelan adalah menjadi kunci dari kesuksesan pemodelan [8]. Dalam menentukan pemodelan yang akan digunakan, hal ini sangat bergantung jenis aliran yang tersedia, dimana pengguna harus mengasumsikan aliran [9].

Kajian ini dapat menjadi rujukan untuk memilih jenis pemodelan yang sesuai diaplikasikan pada turbin air piko hidro jenis propeller. Untuk mendapatkan hasil yang memiliki nilai error yang kecil dibutuhkan metode aliran turbulen yang sesuai dengan karakteristik kondisi aktual [10].

STUDI LITERATUR

Makalah Aliran turbulen pertama kali dicetuskan oleh Leonardo Da Vinci pada tahun 1400an, dia mengatakan pergerakan fluida yang tidak beraturan. Definisi dari turbulen itu sendiri pertama kali didefinisikan oleh Osborne Reynolds sebagai salah satu peletak teori aliran turbulen pada tahun 1895 sebagai aliran sinus (*sinous flow*) [11]. Aliran turbulen dapat dideskripsikan memiliki karakteristik seperti berikut [12]:

- Tidak beraturan
- Disipatif
- Kontinum
- Bilangan Reynolds cukup tinggi (>2000)

Aliran yang turbulen merupakan aliran yang tidak beraturan sehingga aliran ini sangat sulit untuk dianalisis, baik itu property aliran yaitu kecepatan yang di dekat dinding maupun di tengah terjadi tingkat fluktuasi aliran yang sangat tinggi [10]. Gb. 1 memperlihatkan kondisi aliran turbulen terhadap titik tengah aliran.

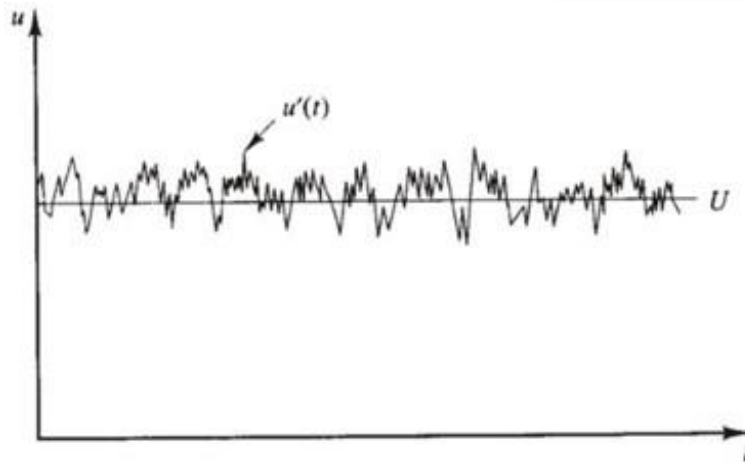
Fakta dilapangan yang dipakai dalam simulasi CFD dengan objek turbin air piko hidro jenis propeller, yaitu:

1. Model $k-\epsilon$

Model turbulen STD $k-\epsilon$ dikembangkan oleh Launder dan Spalding (1973) [14]. Model turbulen ini adalah model berbasis RANS yang paling sering digunakan untuk kondisi aliran

secara umum atau bisa dikatakan tingkat turbulen tidak terlalu kompleks dan perangkat komputasi umum [14]. Model persamaan ini dipandang kurang dapat memprediksi aliran secara detail, terutama pada jenis aliran berputar, pada kondisi ini model turbulen k- ϵ cenderung menghasilkan prediksi kinetic energy turbulen, disipasi dan viskositas turbulen yang lebih tinggi dari pada kondisi actual, dan juga rasio antara

viskositas molecular dan viskositas turbulen diasumsikan sebanding ($P_{\tau} = 1$) [14]. Simulasi CFD menggunakan persamaan k- ϵ pernah dilakukan oleh R.G. Simpson, A.A. Williams pada tahun 2006 [15], Ramos, et.al pada tahun 2012 [16].



Gambar 1. Fluktuasi kecepatan terhadap waktu [13]

2. RSM k- ϵ

Analisa yang dilakukan oleh Dermawan bahwa pemodelan turbulen RSM merupakan pemodelan paling lengkap, tingkat keakurasian yang baik untuk aliran sederhana dan aliran rumit, keberadaan jet di dekat dinding, berputar, juga sangat baik untuk aliran dengan gradient tekanan sangat kecil, lapis batas dengan gradient tekanan berlawanan serta lebih baik dari model RNG k- ϵ pada backward-facing step, dengan tingkat akurasi yang tinggi maka pemodelan ini membutuhkan daya komputasi besar karena menyelesaikan 7 persamaan transport, dan juga belum semapan model STD k- ϵ serta untuk aliran berputar terbuka, hasil yang ditawarkan menyerupai STD k- ϵ [10]. Penelitian untuk turbin propeller menggunakan pemodelan ini pernah dilakukan oleh Helena M. et.al pada tahun 2013 [17].

3. SST k- ω

Choi et.al melakukan analisis dengan membandingkan dua model, mendapatkan hasil pemodelan untuk SST k- ω direkomendasikan untuk kasus pemodelan dengan aliran satu fasa dan pemodelan k- ϵ direkomendasikan untuk pemodelan dua fasa [18]. Pemodelan ini dapat digunakan pada kondisi aliran transisi dengan arti bahwa pemodelan ini bekerja pada bilangan Reynolds rendah, dapat juga memecahkan persamaan dengan tingkat disipasi bergolak, tegangan geser dianggap licin, pemodelan ini uga dianjurkan untuk kondisi batas yang kompleks [19]. Pemodelan SST k- ω dilakukan oleh Prasad pada tahun 2009 [20].

Secara umum dapat kelebihan dan kekurangan pemodelan turbulen diatas dapat digambarkan pada tabel 1, sebagai berikut:

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan model pemodelan turbulen [10]

Model	Kelebihan	Kekurangan
k- ϵ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sangat sederhana ▪ Cukup baik untuk penggunaan pada simuasi aliran umum ▪ Paling banyak digunakan ▪ Kebutuhan daya komputasi tidak terlalu besar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kurang sesuai digunakan pada aliran tertutup, laju regangan besar dan berputar ▪ Prediksi disipasi turbulen berlebih
RSM k- ϵ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Akurasi yang baik untuk aliran sederhana dan aliran yang rumit serta berputar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kebutuhan daya komputasi tinggi ▪ Belum semapan model STD k-ϵ

Model	Kelebihan	Kekurangan
	<ul style="list-style-type: none"> Sangat baik untuk aliran dengan gradient tekanan sangat kecil, lapis batas gradient tekanan berlawanan, aliran geser bebas, jet dan olakan Lebih baik dari model RNG $k-\epsilon$ pada backward-facing step 	<ul style="list-style-type: none"> Untuk aliran berputar terbuka, hasil simulasi meyerupai STD $k-\epsilon$
SST $k-\omega$	<ul style="list-style-type: none"> Baik digunakan untuk nilai Reynolds sangat tinggi Jumlah mesh bergantung pada tingkat keakurasian hasil Dapat digunakan untuk fluida tekan, tegangan geser bebas Dapat digunakan pada aliran transisi 	<ul style="list-style-type: none"> Diperuntukan untuk simulasi dua fasa Prediksi untuk aliran separasi berlebih Kebutuhan daya komputasi tinggi

METODOLOGI

Metodelogi yang digunakan dalam kajian ini adalah studi literatur. Parameter yang digunakan dalam metode ini yaitu melakukan perbandingan hasil simulasi CFD dengan data hasil eksperimen. Hasil perbandingan, akan didapatkan nilai perbandingan (*error*), pemodelan yang memiliki nilai perbandingan (*error*) yang lebih kecil dan tidak over-predicted ditetapkan sebagai pemodelan yang direkomendasikan untuk diaplikasi pada simulasi turbin air piko hidro jenis propeller.

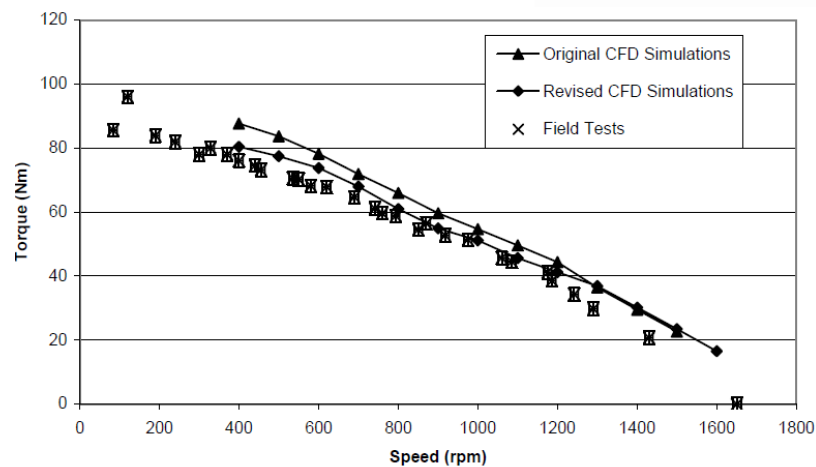
HASIL DAN DISKUSI

Kajian ini adalah membandingkan penelitian simulasi CFD dengan penelitian eksperimental. Hal ini menjadi pertimbangan untuk

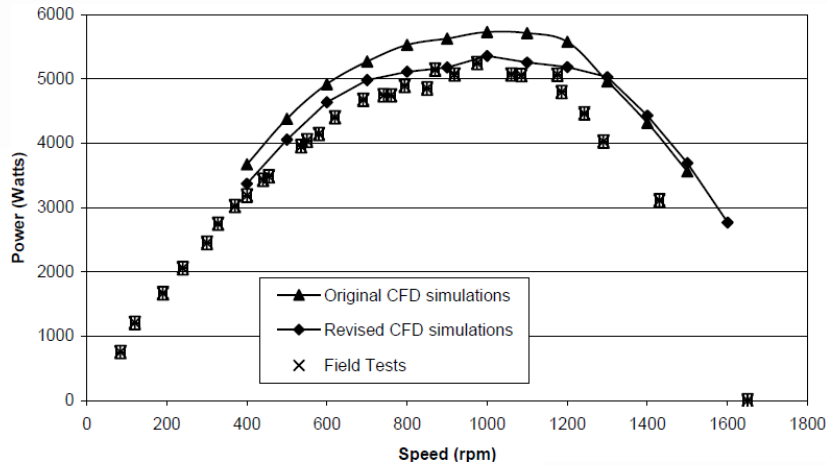
mengkoreksi nilai *error* hasil data simulasi, selanjutnya nilai *error* yang didapat dikomparasikan dengan penelitian yang lainnya. Berikut adalah beberapa penelitian tentang simulasi CFD dan eksperimental yang pernah dilakukan sebelumnya, sedikitnya ada empat penelitian yang pernah dilakukan, yaitu:

1. Pemodelan $k-\epsilon$

Simpson dan Williams (2006) melakukan simulasi CFD selanjutnya dibandingkan dengan hasil eksperimental menggunakan pemodelan turbulen $k-\epsilon$ [15]. Penelitian dilakukan dengan parameter yang ditetapkan, yaitu: debit adalah 180-220 l/s dan tinggi tekan 4 meter serta kecepatan putar antara 100-1650 rpm. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gb. 2 dan Gb. 3, sebagai berikut:



Gambar 2. Perbandingan torsi hasil CFD dan eksperimental [15]



Gambar 3. Perbandingan unjuk kerja (daya) [15]

Dari hasil penelitian Simpson dan Williams mengklaim bahwa efisiensi turbin over-predicted sebesar 10% dari titik efisiensi terbaik [15].

Ramos, et.al (2012) melakukan penelitian analisis CFD dan divalidasi dengan hasil eksperimental menggunakan pemodelan yang sama dengan Simpson dan William yaitu

pemodelan turbulen k-ε [16]. Parameter yang digunakan dalam simulasi untuk 4 sudu dengan debit 4 l/s dan kecepatan spesifik (Ns) sebesar 91 rpm. (mm³/s), untuk 5 sudu debit yang digunakan 3,4 l/s dan kecepatan spesifik (Ns) sebesar 80 91 rpm. (mm³/s), untuk kecepatan putaran turbin diatur 300 rpm. diameter. Hasil penelitian yang dilakukan Ramos, et.al disajikan pada tabel 2, sebagai berikut:

Tabel 2. Komparasi data hasil simulasi CFD dan eksperimental [16]

Turbine	D	H	Q	N	η	P	Rentang Aplikasi		
	mm	m	l/s	rpm	%	W	Q (l/s)	H (m)	N (r.p.m)
Propeller with 5 blades	100* ¹	0,13	3,4	300	98	4	2,5-5	0,08-0,3	200-300
	100* ²	0,13	4,9	200	35	2	2,5-5	0,04-0,17	70-200
Propeller with 4 blades	100* ¹	0,12	4	300	95	4	3-5	0,05-0,25	200-300
	100* ²	0,07	3,3	200	70	2	2,3-5,2	0,07-0,25	70-300

*¹analisis CFD untuk kondisi lab, *²hasil eksperimen.

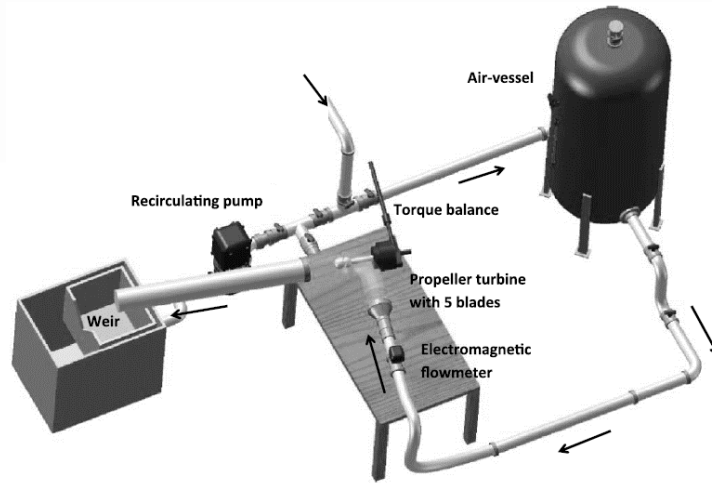
Tabel 2 memperlihatkan bahwa hasil simulasi menunjukkan perbedaan pada daya yang dihasilkan sebesar 200% lebih besar dibanding hasil eksperimen.

PEMODELAN RSM K-ε

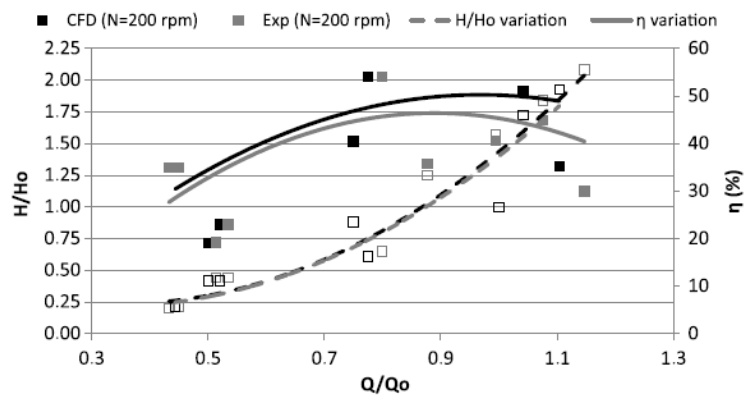
Helena M. et.al pada tahun 2013 melakukan penelitian tentang pemodelan RSM k-ε. Pada penelitiannya debit maksimum yang tersedia adalah 5,2 l/s, diameter impeller yang digunakan adalah 100 mm dan 200 mm dan kecepatan putar turbin sebesar 100-1650 r.p.m serta jumlah sudu propeller adalah 5. Gb. 4

merupakan setup alat eksperimen yang dilakukan Helena M. et.al.

Pemodelan turbulen RSM k-ε digunakan karena ketahanan model hasil simulasi pada analisis turbulen dan juga model memasukan dua persamaan yang berhubungan dengan aliran turbulen, dimana semua perhitungan fokus pada konveksi dan difusi turbulen [17]. Kondisi batas untuk density air dan konstanta viskositas adalah $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu = 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Komparasi hasil simulasi CFD dan Eksperimental dapat dilihat pada Gb. 5.



Gambar 4. Instalasi tubular propeller dengan 5 sudu [17]



Gambar 5. Kurva komparasi efisiensi hasil simulasi dan eksperimental [17]

Dari kurva tersebut Helena M. et.al mengklaim bahwa error yang dihasilkan oleh analisa CFD jika dikomparasikan dengan hasil eksperimen antara $0.002 < e < 0.02$.

PEMODELAN SST k- ω

Pemodelan SST k- ω dilakukan oleh Prasad et.al pada tahun 2009 [20]. Penelitian ini menggunakan 12 vane tetap, guide vane dan 4 sudu. kondisi batas ntuk data mesh dapat dilihat pada tabel 3, sebagai berikut:

Tabel 3. Ringkasan data mesh [20]

Component	No. of nodes	No. of elements	Type of element
Stay Vane	24811	126527	Tetrahedral
Guide Vane	16212	78051	Tetrahedral
Runner	35267	180868	Tetrahedral
Draft Tube	279151	1540907	Tetrahedral

Komparasi hasil simulasi CFD dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4, sebagai berikut:

Tabel 4. Perbandingan hasil komputasi/numerikal dan eksperimental [20]

Topic	Guide vane angle		
	50 ⁰	40 ⁰	35 ⁰
Rotational speed (rpm)	1140	1155	1260
Speed factor	55,51	46,51	42,58
Discharge factor	0,43	0,43	0,33
Numerically computed efficiency (%)	90,19	92,24	89,97
Experimental efficiency (%)	90,86	92,06	91,59

Dari penelitian yang dilakukan Prasad, perlu diadakannya kajian ulang hasil simulasi yang dilakukan pada sudut 35⁰ dikarenakan sesuatu

yang sangat tidak mungkin hasil komputasi mendapatkan nilai yang lebih baik dari hasil eksperimental.

Komparasi nilai error antara simulasi dan eksperimental dapat dilihat dari Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5. Perbandingan nilai error antara simulasi dan eksperimental

Penulis	Model Turbulen	Error
Simpson dan Williams	k- ϵ	10%
Ramos, et.al	k- ϵ	50%
Prasad et.al	RSM k- ϵ	0.002 < e < 0.02
Helena M. et.al	SST k-ω	0.99231

Dari tabel di atas didapatkan bahwa pemodelan turbulen RSM k- ϵ merupakan pemodelan yang dipandang sesuai untuk diaplikasikan pada simulasi turbin pikohidro jenis propeller, dikarenakan memiliki nilai error yang kecil atau tingkat keakuratan hasil simulasi hampir menyerupai hasil.

KESIMPULAN

Hasil kajian studi literatur mendapatkan bahwa model turbulen Reynolds Stress Model (RSM) k- ϵ memiliki nilai error, nilai hasil simulasi CFD dan eksperimental, yang dikategorikan baik karena nilai error di bawah angka 1. Dapat disimpulkan model turbulen Reynolds Stress Model (RSM) k- ϵ adalah pemodelan yang direkomendasi untuk diaplikasikan pada simulasi turbin air pikohidro jenis propeller.

DAFTAR PUSTAKA

- Williams, A. and S. Porter, Comparison of hydropower options for developing countries with regard to the environmental, social and economic aspects. Small, 2006. 1: p. 10MW.
- Ho-Yan, B., Design of a low head pico hydro turbine for rural electrification in Cameroon, 2012.
- Adhikari, P., et al., A Study on Developing Pico Propeller Turbine for Low Head Micro Hydropower Plants in Nepal. Journal of the Institute of Engineering, 2014. 9(1): p. 36-53.
- Chica, E., S. Agudelo, and N. Sierra, Lost wax casting process of the runner of a propeller turbine for small hydroelectric power plants. Renewable energy, 2013. 60: p. 739-745.

5. Shantika, T. and M. Ridwan, Perancangan Prototipe Picohydro Portable 200 Watt.
6. Williams, A. and R. Simpson, Pico hydro—Reducing technical risks for rural electrification. *Renewable Energy*, 2009. 34(8): p. 1986-1991.
7. Budiarso, W., Dendy Adanta. KAJIAN TURBIN AIR PIKO HIDRO DAERAH TERPENCIL DI INDONESIA. in Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XV. 2016. Bandung.
8. Versteeg, H.K. and W. Malalasekera, An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. 2007: Pearson Education.
9. Aeschlimann, V., et al., Inter-blade flow analysis of a propeller turbine runner using stereoscopic PIV. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 2013. 42: p. 121-128.
10. Darmawan, S., Pengembangan model turbulen RNG k- ϵ untuk aplikasi CFD pada runner cross-flow dalam komponen turbin gas mikro bioenergy proto x-2a, in Departemen Teknik Mesin 2015, Universitas Indonesia: Depok. p. 41.
11. Reynolds, O., On the dynamical theory of incompressible viscous fluids and the determination of the criterion. *Proceedings of the Royal Society of London*, 1894. 56(336-339): p. 40-45.
12. Tennekes, H. and J.L. Lumley, A first course in turbulence. 1972: MIT press.
13. Munson, B.R., D.F. Young, and T.H. Okiishi, *Mekanika Fluida Jilid 2*. Jakarta: Erlangga, 2005.
14. Launder, B.E. and D. Spalding, The numerical computation of turbulent flows. *Computer methods in applied mechanics and engineering*, 1974. 3(2): p. 269-289.
15. Simpson, R. and A. Williams, Application of computational fluid dynamics to the design of pico propeller turbines. ICREDC-06, School of Engineering and Applied Sciences, University of the District of Columbia, Washington DC, USA, 2006.
16. Ramos, H., M. Simão, and A. Borga, CFD and experimental study in the optimization of an energy converter for low heads. *Energy Science and Technology*, 2012. 4(2): p. 69-84.
17. Ramos, H.M., M. Simão, and A. Borga, Experiments and CFD analyses for a new reaction microhydro propeller with five blades. *Journal of Energy Engineering*, 2012. 139(2): p. 109-117.
18. Choi, Y.-D., et al., Performance and internal flow characteristics of a cross-flow hydro turbine by the shapes of nozzle and runner blade. *Journal of Fluid Science and Technology*, 2008. 3(3): p. 398-409.
19. W, J. Use of k-epsilon and k-omega Models. 2010.
20. Prasad, V., V. Gahlot, and P. Krishnamachar, CFD approach for design optimization and validation for axial flow hydraulic turbine. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 2009. 16(4): p. 229.