

SEJARAH PEMANFAATAN METODE *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* UNTUK STUDI PIKO HIDRO TIPE CROSS-FLOW

Dendy Adanta¹, M.A. Ade Saputra^{1*}, Dewi Puspita Sari², Aji Putro Prakoso³, M. Malik Ibrahim⁴ dan Melia Sari⁵

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30662, Sumatera Selatan, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30662, Sumatera Selatan, Indonesia

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jendral Achmad Yani, Cimahi, 40531, Jawa Barat, Indonesia

⁴Program Studi Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30662, Sumatera Selatan, Indonesia

⁵Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Indralaya, 30662, Sumatera Selatan, Indonesia
Corresponding author: m.a.adesaputra@unsri.ac.id

ABSTRAK: Krisis ketenagalistrikan di pedesaan terpencil merupakan isu yang sangat krusial di Indonesia. Dibandingkan dengan opsi lain, turbin cross-flow piko hidro or *pico hydro cross-flow turbine* (CFT) adalah opsi yang lebih baik dalam menyediakan tenaga listrik untuk daerah pedesaan yang terisolasi. Studi untuk meningkatkan kinerja CFT dapat dilakukan secara analitik, numerik, eksperimental, atau kombinasi dari metode-metode tersebut. Namun perkembangan teknologi komputer membuat studi simulasi numerik menjadi semakin sering dilakukan. Artikel ini menjelaskan pemanfaatan pendekatan *computational fluid dynamic* (CFD) dalam CFT. Penelitian ini telah menghasilkan model turbulensi $k-\epsilon$ *Renormalization Group* (RNG) yang direkomendasikan untuk simulasi CFD CFT karena kesalahan relatif absolutnya lebih rendah dari standar $k-\epsilon$ dan Transitional *Shear Stress Transport* (SST). Tingkat kesalahan relatif absolut untuk model turbulensi RNG $k-\epsilon$ 3,08%, standar $k-\epsilon$ 3,19%, dan SST transisi 3,10%. Sedangkan untuk pendekatan unsteady, enam derajat kebebasan (6-DoF) dianggap lebih akurat daripada *moving mesh*. Kesalahan relatif absolut untuk 6-DoF sebesar 3,1% dan mesh bergerak sebesar 9,5%. Dengan demikian, berdasarkan kajian tersebut, model turbulensi RNG $k-\epsilon$ dan 6-DoF diusulkan untuk studi CFD CFT piko hidro.

Kata Kunci: *Pico hydro*; Turbin aliran silang; CFD; RANS; Pendekatan 6-DoF

ABSTRAK: Crisis electricity in the isolated rural area was a very crucial issue to resolve the electrification ratio problem in Indonesia. Compared to other options, pico hydro cross-flow turbine (CFT) is the better option to provides electrical power for isolated rural areas. Studies to improve CFT performance can be undertaken analytically, numerically, experimentally, or a combination of those methods. However, the development of computer technology makes numerical simulation studies have become increasingly frequent. This paper describes the utilization of the computational fluid dynamic (CFD) approach in the pico hydro CFT method. This review has resulted that the recommended Renormalization Group (RNG) $k-\epsilon$ turbulence model for CFT CFD simulation because its absolute relative error is lower than standard $k-\epsilon$ and transitional Shear Stress Transport (SST). The absolute relative error for the RNG $k-\epsilon$ turbulence model of 3.08%, standard $k-\epsilon$ of 3.19%, and transitional SST of 3.10%. While for the unsteady approach, the six-degrees of freedom (6-DoF) are considered because more accurate than moving mesh. The absolute relative error for 6-DoF of 3.1% and moving mesh of 9.5%. Thus, based on the review, the RNG $k-\epsilon$ turbulence model and 6-DoF are proposed for the pico hydro CFT CFD study.

Kata Kunci: Pico hydro; Crossflow turbine; CFD; RANS; 6-DoF approach

PENDAHULUAN

Turbin aliran silang (CFT) dikategorikan sebagai turbin impuls yang mendominasi energi kinetik air melalui sudu untuk memutar poros. (Adanta, Hindami, Budiarmo, Warjito, & Siswantara, 2018; Chichkhede, Verma, Gaba, & Bhowmick, 2016). CFT menyerap energi air dua langkah: tahap pertama dan kedua (Mockmore & Merryfield, 1949). Perpindahan energi dua langkah pada CFT menjadikan turbin ini sangat menarik untuk dipelajari, terutama tentang medan alirannya seperti fenomena turbulensi (Kaniecki & Steller, 2003; Siswantara et al., 2018). Dengan memahami bidang aliran, kerugian aliran yang terjadi pada CFT dapat diminimalisir sehingga efisiensi dapat ditingkatkan (Adanta, Budiarmo, Warjito, Siswantara, & Prakoso, 2018; Mockmore & Merryfield, 1949)(Nadim M.Aziz & Desai, 1993; FUKUTOMI, NAKASE, & Watanabe, 1985; Vincenzo Sammartano, Aricò, Carravetta, Fecarotta & Tucciarelli, 2013; Acharya, Kim, Thapa, & Lee, 2015; RC Adhikari & Wood, 2017).

Studi untuk meningkatkan kinerja CFT dapat dilakukan secara analitik, numerik, eksperimental, atau kombinasi dari metode tersebut. Selain itu, perkembangan teknologi komputer membuat studi simulasi numerik menjadi semakin sering dilakukan (Adanta, Budiarmo, Warjito & Siswantara, 2018; Siswantara et al., 2018). Karakteristik aliran fluida di dalam nosel CFT telah berhasil diperoleh dengan menggunakan metode numerik pada tahun 1985 (FUKUTOMI et al., 1985) dan beberapa parameter optimal dari desain nosel CFT telah direkomendasikan. Selain itu, studi ini juga memastikan rekomendasi sudut serang yang optimal (Nadim M. Aziz & Desai, 1993; NM Aziz & Totapally, 1994). Studi tentang nozzle CFT telah dilakukan dimana merekomendasikan analisis numerik yang sangat menjanjikan untuk digunakan dalam investigasi desain nosel dengan distribusi tekanan yang lebih baik (Pereira & Borges, 1996). Kedua studi tersebut dilakukan dengan menggunakan pendekatan numerik satu dimensi.

Pada awal abad ke-21, beberapa perangkat lunak *computational fluid dynamics* (CFD) telah dikembangkan dan memungkinkan para peneliti untuk menyelidiki aliran fluida yang lebih kompleks dengan metode yang lebih terjangkau (Ansys, 2011). Beberapa analisis dua atau tiga dimensi (2 atau 3D), kondisi-stabil atau transien tentang CFT telah dilakukan dalam periode ini (Y.-D. Choi, Lim, Kim, & Lee, 2008; De Andrade et al., 2011; Vincenzo Sammartano dkk., 2013; Acharya dkk., 2015 ; RC Adhikari & Wood, 2017). Pada tahun 2008, serangkaian simulasi numerik menggunakan

pendekatan kondisi-stabil 2D kuasi telah dilakukan untuk menemukan sudut bukaan *guide vane* yang paling efisien dalam CFT komersial dan menyelidiki karakteristik aliran internalnya (Y.-D. Choi et al., 2008). Penyelidikan lebih dalam terhadap aliran internal CFT telah dilakukan pada tahun 2011, dan kemudian ditemukan pengaruh poros di dalam CFT (De Andrade et al., 2011). Beberapa penyebab kerugian juga ditemukan pada aliran hidrodinamik CFT menggunakan simulasi CFD transien 2D (De Andrade et al., 2011). Pada tahun 2013 telah dilakukan beberapa studi tentang CFT yang diawali dengan menemukan desain CFT yang optimal menggunakan studi pustaka ekstensif yang dikombinasikan dengan beberapa simulasi transien 2D dan 3D.(Vincenzo Sammartano dkk., 2013). Hasil yang optimal kemudian divalidasi dan dipertajam dalam beberapa penelitian selanjutnya (V Sammartano, Morreale, Sinagra, Collura, & Tucciarelli, 2014; Vincenzo Sammartano, Morreale, Sinagra, & Tucciarelli, 2016). Studi numerik kondisi-stabil 3D telah dilakukan dan berhasil meningkatkan kinerja CFT dengan memodifikasi kelengkungan noselnya (Acharya dkk., 2015). Perbaikan nosel CFT lainnya telah menemukan 90% efisiensi CFT dengan menggunakan simulasi numerik yang divalidasi oleh pengujian eksperimental (RC Adhikari & Wood, 2017; RC Adhikari & Wood, 2018). Saat ini, studi mereka mencoba meningkatkan efisiensi CFT dengan menggandakan nosel (R. Adhikari & Wood, 2018a).

Saat ini simulasi numerik CFT semakin kompleks untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat. Dengan menggunakan *rigid body options* di dalam *six degree of freedom* (6-DOF), didapatkan pergerakan turbin sebagai hasil dari perhitungan numerik. Beberapa penelitian saat ini telah dilakukan dengan menggunakan opsi ini untuk mendapatkan penyelidikan lebih dalam atau melakukan beberapa terobosan perbaikan pada desain CFT (Adanta, Budiarmo, Warjito, Siswantara, dkk., 2018; Adanta, Hindami, & Siswantara, 2018; Adanta, Prakoso, Siswantara, Warjito, & Budiarmo, 2018). Penelitian tahun 2018 menggunakan pendekatan *dynamic meshing* 6-DoF untuk mengetahui pengaruh profil *airfoil* terhadap karakteristik aliran internal dan kinerja turbin dengan membandingkan tiga kasus CFT (Adanta, Budiarmo, Warjito, Siswantara, dkk., 2018). Hasil studi tersebut menyimpulkan bahwa profil *airfoil* dapat memberikan pengaruh positif terhadap karakteristik aliran fluida di dalam turbin, tetapi tidak untuk performanya. Hal tersebut dikarenakan efek impuls pada CFT lebih dominan dibandingkan dengan efek reaksinya (Adanta, Budiarmo, Warjito, Siswantara, dkk., 2018). Selanjutnya dilakukan penelitian lain pada tahun 2018 untuk mengetahui pengaruh kedalaman kelengkungan

sudu terhadap performanya (Adanta, Hindami, & Siswantara, 2018), kemudian sederhanakan rumus perhitungan desain menjadi rasio dengan diameter luar (Adanta, Prakoso, Siswantara, Warjito, dkk., 2018).

Banyak penelitian tentang CFT menggunakan CFD, penelitian kali ini mencoba merangkum perkembangan CFT khususnya dengan menggunakan pendekatan numerik. Penelitian ini mengkaji beberapa penelitian yang berhubungan dengan kualitas hasil CFD pada simulasi CFT piko hidro. Ini bertujuan untuk merekomendasikan pendekatan transien yang sesuai dan model turbulensi CFT skala piko untuk simulasi numerik CFD.

TINJAUAN STUDI CFT SEBELUM ABAD DUA PULUH

CFT pertama kali diperkenalkan oleh A. Michell pada tahun 1903, kemudian pendekatan teoritis pertama ditemukan oleh D.Banki, kemudian disempurnakan oleh Sonnek pada tahun 1923 (Khosrowpanah, Fiuzat, & Albertson, 1988). Mockmore dan Merryfield (1994; Mockmore & Merryfield, 1949) menemukan bahwa kecepatan spesifik (Ns) CFT yang optimal adalah 14, lebih tinggi dari turbin impuls lainnya. Hasil penelitian juga menemukan bahwa CFT memiliki kinerja yang stabil di bawah debit air yang fluktuatif (Mockmore & Merryfield, 1949). Haimerl (1960) (Maciej Kaniecki, 2002) menemukan bahwa tekanan di ujung nosel CFT tidak nol, sehingga turbin ini disebut bukan turbin impuls murni.

Nakase (1982) telah meninjau pengaruh bentuk dan ukuran nosel CFT terhadap kinerjanya. Nakase (1982) merekomendasikan rasio antara tinggi dan lebar nosel CFT berdasarkan Persamaan 1.

$$\frac{S_0}{R\lambda} \cong 0.26 \tag{1}$$

dimana, S_0 adalah tinggi awal nosel, R adalah jari-jari terluar CFT, dan λ adalah sudut pelepasan nosel.

Rekomendasi tersebut menguji dan meningkatkan kinerja CFT, dimana efisiensi CFT dapat mencapai 82% (Nakase, 1982). Kemudian, Durgin dan Fay (1984) menemukan bahwa transfer energi tahap pertama memberikan kontribusi yang lebih tinggi terhadap kinerja CFT sekitar 83% dari total transfer energi. Temuan ini masih relevan hingga saat ini (Y.-D. Choi et al., 2008). Melanjutkan studi sebelumnya tentang nosel CFT (Nakase, 1982), sebuah penelitian yang dilakukan pada tahun 1985 (FUKUTOMI et al., 1985). Fukutomi dkk. (1985) menyimpulkan bahwa pendekatan numerik merupakan alternatif yang tepat untuk memperbaiki

nosel CFT. Selanjutnya, menggunakan pendekatan numerik, Fukutomi, Senoo, dan Nakase (1991) menyelidiki bidang aliran CFT. Fukutomi, dkk. (1991) menemukan pengaruh rasio diameter terhadap kinerja CFT.

Khosrowpanah, dkk. (1988) menemukan bahwa λ yang optimal untuk CFT dulu 90° dan masih digunakan sampai sekarang. Kemudian, Khosrowpanah, dkk. (1993), Nadim M. Aziz dan Desai (1993), dan Nadim M. Aziz dan Totapally (1994) menyimpulkan bahwa sudut serang optimum (α) untuk CFT sebelumnya adalah 22° , yang berlaku sampai sekarang (R. Adhikari & Wood, 2018b). Nadim M. Aziz dan Totapally (1994) memvalidasi Mockmore dan Merryfield (1949) mengusulkan rasio diameter optimal (d / D) dari 0,68.

Temuan studi CFT yang dilakukan sebelum abad ke-21 terkait dengan parameter desain utama CFT. Rangkuman studi yang dilakukan sebelum abad ke-21 dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Studi CFT pada tahun 1949 sampai 1994

Penulis	α	Desain nosel	λ	DD	Nb
Mockmore dan Merryfield (1949)					
Maciej Kaniecki (2002)					
Nakase (1982)					
Durgin dan Fay (1984)					
Fukutomi, dkk (1985)					
Khosrowpanah, dkk. (1988)					
Fukutomi, dkk. (1991)					
Nadim M. Aziz dan Totapally, (1994)					

STUDI CFT DI ABAD KEDUA PULUH SATU

Pada awal abad 21, hampir semua studi CFT menggunakan simulasi CFD. CFD banyak digunakan karena murah, cepat, dan mampu memvisualisasikan bidang aliran secara detail (Versteeg & Malalasekera, 2007). Maciej Kaniecki (2002) mencoba untuk meningkatkan kinerja CFT dengan menambahkan draft tabung pada aliran keluar dan menganalisa karakteristik aliran pada draft tabung. Kaniecki dan Steller (2003) melakukan beberapa simulasi CFD untuk menganalisis pola aliran CFT dan mengklasifikasikan CFT sebagai turbin reaksi. YD Choi, dkk. (2007) menyelidiki pengaruh sudut sudu terhadap karakteristik aliran internal, yang merekomendasikan bahwa sudut outlet

blade yang optimal (β_2) adalah 90° . Y.D. Choi, dkk. (2007) menyelidiki aliran internal dengan variasi bentuk nosel dan menemukan bahwa CFT memiliki karakteristik turbin impuls dan reaksi. Y.D. Choi, dkk. (2008) menemukan bahwa karakteristik aliran internal memiliki pengaruh yang tinggi terhadap kinerja CFT. Telah dilakukan kajian tentang karakteristik aliran internal dengan variasi kecepatan sudut turbin (De Andrade, dkk. 2011). De Andrade, dkk. (2011) disimpulkan bahwa aliran resirkulasi yang terjadi sebagai kejutan dimana aliran ini harus diminimalkan agar turbin dapat bekerja dengan baik.

Optimasi CFT menggunakan metode CFD telah dilakukan oleh Sammartano et al. Pada 2014, Sinagra, dkk. (2014) membuat nosel CFT yang dapat disesuaikan dengan kondisi pembuangan yang berfluktuasi. Pada 2015, Vincenzo Sammartano, dkk. (2015) mencoba memanfaatkan CFT untuk menghasilkan listrik dan pengatur aliran langsung untuk sistem pengangkutan air. Pada 2016, Vincenzo Sammartano, dkk. (2016) memvalidasi optimalisasi yang dilakukan oleh Vincenzo Sammartano, dkk. (2013), juga bertujuan mengoreksi rumus kecepatan masuk. Vincenzo Sammartano, dkk. (2016) juga membandingkan beberapa model turbulensi dengan hasil eksperimen untuk memastikan model turbulen yang tepat untuk casing CFT.

Beberapa penelitian menggunakan metode CFD untuk meningkatkan kinerja CFT. Acharya, dkk. (2015) mendesain ulang nosel CFT untuk meningkatkan kinerjanya. Desain ulang nosel CFT telah meningkatkan efisiensinya secara signifikan dari 63,7% menjadi 76,6% (Acharya dkk., 2015).

Beberapa penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan CFT yang sangat efisien mulai dari perbaikan ujung nosel oleh RC Adhikari dan Wood, (2017). Selanjutnya, RC Adhikari dan Wood, (2018) menggunakan metode CFD menyelidiki pola aliran dan kinerja turbin ketika CFT berjalan di bawah kondisi beban sebagian yang menghasilkan pengendalian debit air CFT yang lebih efisien. Dan, R. Adhikari dan Wood (2018a) menyelidiki CFT dengan nosel ganda untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi. Di penghujung tahun 2018, rangkuman studi-studi sebelumnya telah dibuat menjadi sebuah makalah review terkait upaya beberapa studi untuk mencapai efisiensi CFT yang tinggi (R. Adhikari & Wood, 2018b). Efisiensi maksimum yang diperoleh dari beberapa penelitian di abad ke-21 secara singkat disebutkan dalam Tabel 2.

Semua studi simulasi CFD pada Tabel 2 telah dilakukan di bawah domain 3D. Namun, pada 2018 analisis CFD 2D telah digunakan untuk meningkatkan performansi CFT dengan memodifikasi sudu turbin dengan profil *airfoil* dan menemukan beberapa karakteristik turbulensi pada aliran internal CFT yang mempengaruhi performannya (Adanta, Budiarmo, Warjito, Siswantara, dkk., 2018). Dan, studi CFD 2D digunakan untuk menyelidiki efek modifikasi kurva sudu terhadap kinerjanya (Adanta, Hindami, & Siswantara, 2018).

Tabel 2 Efisiensi CFT maksimum yang dicapai dari beberapa studi saat ini

Penulis	Efisiensi numerik	Efisiensi percobaan
Maciej Kaniecki, (2002), Kaniecki dan Steller, (2003)	74,3%	78,6%
YD Choi, dkk. (2007), Y.D. Choi, dkk. (2007), Y.D. Choi, dkk (2008)	65,7%	76,2%
De Andrade, dkk. (2011)	76%	72%
Vincenzo Sammartano, dkk. (2013), Sinagra, dkk (2014), Vincenzo Sammartano, dkk. (2015), Vincenzo Sammartano, dkk. (2016)	79,4%	80,6%
Acharya, dkk. (2015)	76,6%	-
Chichkhede, dkk., (2016)	88%	-
RC Adhikari dan Wood (2017), RC Adhikari dan Wood (2018), R. Adhikari dan Wood (2018a)	91%	84%

PENGARUH MODEL TURBULENSI PADA SIMULASI NUMERIK *PICO HYDRO* CFT

Perbandingan tiga model turbulen model k-ε, model RNG k-ε, dan Transitional SST dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil komputasi (prediksi) (Vincenzo Sammartano dkk., 2016). Hasil perbandingan secara singkat dijelaskan pada Tabel 3. Dari Tabel 3, k-ε dan model RNG k-ε memiliki error relatif rata-rata yang lebih tinggi (δ_R) daripada model SST (Vincenzo Sammartano dkk., 2016). Kesalahan relatif ditentukan oleh Persamaan 2 (Vincenzo Sammartano dkk., 2016).

$$\delta_R = \frac{\eta_{sim} - \eta_{exp}}{\eta_{exp}} \tag{2}$$

Kesalahan relatif absolut (δ_{RA}) didefinisikan dengan menggunakan persamaan 3.

$$\delta_{RA} = \frac{|\eta_{sim} - \eta_{exp}|}{\eta_{exp}} \tag{3}$$

Dimana, η_{exp} adalah efisiensi turbin eksperimental dan η_{sim} adalah hasil simulasi efisiensi turbin CFD.

Penelitian ini dilakukan pada domain 3D yang berarti memiliki lebih banyak dinding dibandingkan simulasi 2D, dimana model turbulensi $k-\epsilon$ dengan perlakuan *near-wall* memiliki kelemahan yang lebih kecil dibandingkan dengan standar $k-\epsilon$.

Tabel 3 Hasil CFD dalam kesalahan relatif dari percobaan dalam berbagai model turbulensi oleh Vincenzo Sammartano, dkk. (2016)

Vt / U	$k-\epsilon$	RNG $k-\epsilon$	SST Transisi
1,2	-2,52%	-1,56%	0,05%
1,4	-3,56%	-3,07%	-1,15%
1,6	-3,95%	-2,83%	-1,16%
1,8	-5,45%	-3,20%	-0,96%
2,0	-5,93%	-3,37%	-1,55%
2,2	-2,07%	0,07%	0,58%
δ_R	-3,91%	-2,39%	-0,70%
δ_{RA}	3,91%	2,41%	0,91%

Studi yang dilakukan oleh Vincenzo Sammartano, dkk. (2016) diverifikasi oleh Siswantara, dkk. (2018). Perbedaan antara Siswantara, dkk. (2018) dengan Vincenzo Sammartano, dkk. (2016) di penyederhanaan model, dimana Siswantara, dkk. (2018) menggunakan model 2D sementara Vincenzo Sammartano, dkk. (2016) 3D. Selain memverifikasi bahwa ada pengaruh penggunaan model turbulensi terhadap prediksi kinerja CFT, Siswantara, dkk. (2018) juga mengusulkan bahwa 2D cukup untuk mewakili kinerja dan bidang aliran untuk proposal skala pico. Siswantara, dkk. (2018) hasilnya dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 4 Kesalahan relatif dari data percobaan hasil CFD oleh Siswantara, dkk. (2018)

Model turbulensi	Rata-rata δ_R	Rata-rata δ_{RA}
$k-\epsilon$	-2,65%	3,19%
RNG $k-\epsilon$	-2,50%	3,08%
SST Transisi	-3,10%	3,10%

Dari hasil pada Tabel 4, hasil CFD untuk semua model turbulensi memiliki rata-rata δ_R sekitar 3% dari data eksperimen. Selisih error tiap model lebih kecil dari 0,11%. Dapat disimpulkan bahwa efek model turbulensi diabaikan dalam simulasi numerik CFD CFT piko hidro. Selain itu, pada hasil ini, model SST transisi memiliki rata-rata δ_{RA} yang lebih tinggi dari RNG $k-\epsilon$ model, yang bertentangan dengan hasil sebelumnya (Siswantara

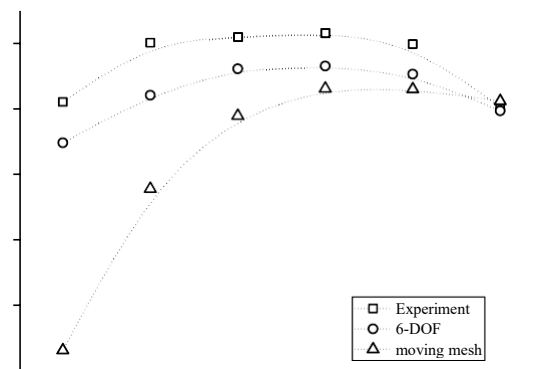
et al., 2018; Vincenzo Sammartano dkk., 2016). Namun, penelitian ini telah menghasilkan δ_{RA} rata-rata maksimum. Dari simulasi CFD CFT dengan berbagai model turbulensi dibawah 4%, artinya semua model turbulensi sudah cukup mendekati untuk memprediksi performansi CFT piko hidro.

Dari kedua hasil tersebut, direkomendasikan model turbulen standar $k-\epsilon$ digunakan untuk simulasi CFT piko hidro karena model ini memiliki daya komputasi yang lebih rendah dan memiliki persamaan yang lebih sederhana daripada RNG $k-\epsilon$ dan SST Transisi. Namun untuk mengkonfirmasi kualitas hasil CFD menggunakan $k-\epsilon$ model turbulensi, nilai y^+ nilai di dekat dinding harus dijaga dalam kisaran $30 \leq y^+ \leq 300$ yang terkait dengan proses *meshing* (Fasih, 2013).

PENDEKATAN TIDAK STABIL DALAM SIMULASI NUMERIK PICO HYDRO CFT

Simulasi CFD CFT menggunakan *software ANSYS Fluent* dilakukan dengan dua jenis pendekatan tidak stabil yaitu: pendekatan *moving mesh* dan pendekatan 6 derajat kebebasan (6-DOF) (Prakoso, Warjito, Siswantara, Budiarmo, & Adanta, 2019). Perbandingan hasil kedua pendekatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Dari Gambar 1, pendekatan 6-DoF memiliki hasil yang lebih mendekati data eksperimen daripada pendekatan *moving mesh*. δ_{RA} antara 6-DoF dan hasil percobaan diperoleh sekitar 3,1%, sedangkan δ_{RA} dari pendekatan mesh bergerak memiliki 9,5% untuk hasil percobaan (Prakoso dkk., 2019). Dapat disimpulkan bahwa pendekatan 6-DoF direkomendasikan untuk diterapkan pada simulasi CFD *pico hydro* CFT.



Gambar 1 Perbandingan kinerja CFT antara 6-DOF, mesh bergerak, dan hasil percobaan Prakoso, dkk. (2019)

KESIMPULAN

Kajian terkait studi CFT, khususnya tentang pendekatan numerik *unsteady* (tidak stabil) untuk simulasi CFT telah dilakukan. Tinjauan tersebut telah menghasilkan model turbulensi RNG k- ϵ yang direkomendasikan untuk simulasi numerik 2D CFT karena kesalahan relatif absolutnya (δ_{RA}) lebih rendah dari standar k- ϵ dan SST transisi, dimana RNG k- ϵ δ_{RA} sebesar 3,08%, standar k- ϵ sebesar 3,19%, dan SST transisi 3,10%. Untuk pendekatan *unsteady* (tidak stabil), disarankan untuk menggunakan 6-DoF daripada pendekatan *moving mesh*. Sejak 6-DoF δ_{RA} sebesar 3,1% lebih rendah dari jaring bergerak sebesar 9,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini didanai oleh Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dengan nomor hibah: 1981d / UN9.FT / TU.SK / 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, N., Kim, C.-G., Thapa, B., & Lee, Y.-H. (2015). Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy*, *80*, 819–826.
- Adanta, D., Budiarmo, Warjito, & Siswantara, A. I. (2018). Assessment of Turbulence Modelling for Numerical Simulations into Pico Hydro Turbine. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *46*, 21–31.
- Adanta, D., Budiarmo, Warjito, Siswantara, A. I., & Prakoso, A. P. (2018). Performance Comparison of NACA 6509 and 6712 on Pico Hydro Type Cross-Flow Turbine by Numerical Method. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *45*, 116–127.
- Adanta, D., Hindami, R., Budiarmo, Warjito, & Siswantara, A. I. (2018). Blade Depth Investigation on Cross-flow Turbine by Numerical Method. In *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)* (pp. 1–6). Yogyakarta: IEEE.
- Adanta, D., Hindami, R., & Siswantara, A. I. (2018). Blade Depth Investigation on Cross-flow Turbine by Numerical Method. In *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)* (pp. 1–6). IEEE.
- Adanta, D., Prakoso, A. P., Siswantara, A. I., Warjito, & Budiarmo. (2018). Simplification Design of Nozzle and Blade of Pico Hydro Turbine type Cross-flow. In *17th Annual National Seminar on Mechanical Engineering (SNTTM XVII)* (pp. 212–217). Kupang: BKSTM.
- Adhikari, R. C., & Wood, D. H. (2017). A new nozzle design methodology for high efficiency crossflow hydro turbines. *Energy for Sustainable Development*, *41*. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.09.004>
- Adhikari, R. C., & Wood, D. H. (2018). Computational analysis of part-load flow control for crossflow hydro-turbines. *Energy for Sustainable Development*, *45*, 38–45.
- Adhikari, R., & Wood, D. (2018a). Computational Analysis of a Double-Nozzle Crossflow Hydroturbine. *Energies*, *11*(12), 3380.
- Adhikari, R., & Wood, D. (2018b). The Design of High Efficiency Crossflow Hydro Turbines: A Review and Extension. *Energies*, *11*(2), 267.
- ANSYS FLUENT UDF Manual. (2011). Canonsburg, PA: ANSYS, Inc.
- Ansys, I. (2011). ANSYS FLUENT theory guide. Canonsburg, Pa, 794.
- Aziz, N M, & Totapally, H. G. S. (1994). Design Parameter refinement for improved Cross-Flow turbine performance. *Engineering Report*.
- Aziz, Nadim M., & Desai, V. R. (1993). *A laboratory study to improve the efficiency of cross-flow turbines*. South Caroline.
- Chichkhede, S., Verma, V., Gaba, V. K., & Bhowmick, S. (2016). A simulation based study of flow velocities across cross flow turbine at different nozzle openings. *Procedia Technology*, *25*, 974–981.
- Choi, Y.-D., Lim, J.-I., Kim, Y.-T., & Lee, Y.-H. (2007). Internal Flow Characteristics of Cross-Flow Hydraulic Turbine with the Variation of Nozzle Shape. In *ASME/JSME 2007 5th Joint Fluids Engineering Conference* (pp. 1089–1094). American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
- Choi, Y.-D., Lim, J.-I., Kim, Y.-T., & Lee, Y.-H. (2008). 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*, *3*(3), 398–409.
- Choi, Y. D., Lim, J. I., Kim, C. G., Kim, Y. T., & Lee, Y. H. (2007). CFD analysis for the performance of cross-flow hydraulic turbine with the variation of blade angle. In *New Trends in Fluid Mechanics Research* (pp. 428–431). Springer.
- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguilón, O., Vásquez, A., Asuaje, M., ... Asuaje, M. (2011). Numerical investigation of the internal flow in a

- Banki turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, 2011. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2011/841214>
- Durgin, W. W., & Fay, W. K. (1984). Some fluid flow characteristics of a cross-flow type hydraulic turbine. *Small Hydro Power Fluid Machinery*, p77-83.
- Fluent, A. (2013). ANSYS fluent theory guide 15.0. ANSYS, Canonsburg, PA.
- FUKUTOMI, J., NAKASE, Y., & Watanabe, T. (1985). A numerical method of free jet from a cross-flow turbine nozzle. *Bulletin of JSME*, 28(241), 1436-1440.
- FUKUTOMI, J., SENOO, Y., & NAKASE, Y. (1991). A numerical method of flow through a cross-flow runner. *JSME International Journal. Ser. 2, Fluids Engineering, Heat Transfer, Power, Combustion, Thermophysical Properties*, 34(1), 44-51.
- Kaniecki, M., & Steller, J. (2003). Flow Analysis through a Reaction Cross-Flow Turbine. In *Proceedings of Conference on modelling fluid flow CMFF* (Vol. 3, pp. 2003-2006).
- Khosrowpanah, S., Fiuzat, A. A., & Albertson, M. L. (1988). Experimental study of cross-flow turbine. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(3), 299-314.
- Maciej Kaniecki. (2002). Modernization of the outflow system of cross-flow turbines. *Task Quarterly*, 6(4), 601-608.
- Mockmore, C. A., & Merryfield, F. (1949). *The Banki water-turbine. Engineering Experiment Station Bulletin Series* (Vol. 25). Engineering Experiment Station, Oregon State System of Higher Education, Oregon State College Corvallis, Ore, USA. <https://doi.org/10.7763/IJMMM.2013.V1.35>
- Nakase, Y. (1982). A study of cross-flow turbine (effects of nozzle shape on its performance). In *ASME 103rd Winter Annual Meeting* (Vol. 13).
- Pereira, N. H. C., & Borges, J. E. (1996). Study of the nozzle flow in a cross-flow turbine. *International Journal of Mechanical Sciences*, 38(3), 283-302.
- Prakoso, A. P., Warjito, Siswantara, A. I., Budiarmo, & Adanta, D. (2019). Comparison Between 6-DOF UDF and Moving Mesh Approaches in CFD Methods for Predicting Cross-Flow Pico- Hydro Turbine Performance. *CFD Letters*, 11(6), 86-96.
- Sammartano, V, Morreale, G., Sinagra, M., Collura, A., & Tucciarelli, T. (2014). Experimental study of cross-flow micro-turbines for aqueduct energy recovery. *Procedia Engineering*, 89, 540-547.
- Sammartano, Vincenzo, Aricò, C., Carravetta, A., Fecarotta, O., & Tucciarelli, T. (2013). Banki-Michell optimal design by computational fluid dynamics testing and hydrodynamic analysis. *Energies*, 6(5), 2362-2385.
- Sammartano, Vincenzo, Aricò, C., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2015). Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000977](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000977).
- Sammartano, Vincenzo, Morreale, G., Sinagra, M., & Tucciarelli, T. (2016). Numerical and experimental investigation of a cross-flow water turbine. *Journal of Hydraulic Research*, 54(3), 321-331.
- Sinagra, M., Sammartano, V., Aricò, C., Collura, A., & Tucciarelli, T. (2014). Cross-Flow turbine design for variable operating conditions. *Procedia Engineering*, 70, 1539-1548.
- Siswantara, A. I., Budiarmo, Prakoso, A. P., Gunadi, G. G. R., Warjito, & Adanta, D. (2018). Assessment of Turbulence Model for Cross-Flow Pico Hydro Turbine Numerical Simulation. *CFD Letters*, 10, 38-48. Retrieved from akademiabaru.com
- Versteeg, H. K. H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. Fluid flow handbook. McGraw-Hill* Pearson Education. <https://doi.org/10.2514/1.22547>