

**ASSESMEN TORSI RUNNER CROSS FLOW PANJANG 130mm
DENGAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)
PADA MINI MIKROHIDRO**

Purwanto

Universitas Maritim AMNI Semarang
email : pwtmhd@yahoo.com

Ramli Sangadji

Universitas Maritim AMNI, Semarang
email : Adji23cisco@yahoo.co.id

Dedy Rusmiyanto

Universitas Maritim AMNI Semarang
email : Dedy.mtsundip@gmail.com

ABSTRAK

Pemodelan Computational Fluid Dynamics (CFD) ini bertujuan untuk mendapatkan torsi tertinggi runner cross flow dengan panjang 130mm pada mini mikrohidro. Parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui torsi cross flow ini adalah putaran runner yang dihasilkan, sudut blade, jumlah blade runner cross flow, bukaan katup, gaya tarik, gaya tekan dan gaya gesek serta head tabung sebagai rumah pembangkit. Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan perangkat lunak yang dapat menggantikan persamaan-persamaan integral dan diferensial parsial menjadi persamaan aljabar yang terdiskritisasi (pertambahan, pengurangan, perkalian dan pembagian) dimana dapat diselesaikan dengan sebuah komputer untuk menghasilkan solusi berupa nilai-nilai aliran pada titik ruang dan waktu. Era Teknologi maka perkembangan program Computational Fluid Dynamics (CFD) sangat pesat membuat metode ini menjadi trend diberbagai bidang industri yang memanfaatkan sebagai pembanding data eksperimen murni dan teori murni. Penelitian Torsi pada cross flow mini mikrohidro menunjukkan bahwa torsi tertinggi yang dihasilkan 10.62Nm pada parameter jumlah blade 24, sudut blade 20⁰ pada head 4 meter dengan putaran runner 1240 rpm.

Kata kunci : *Runner, Cross Flow, Computational Fluid Dynamics (CFD)*

PENDAHULUAN

Listrik merupakan elemen fundamental dasar dan dibutuhkan dalam pembangunan suatu negara. Semakin maju negara dibutuhkan kebutuhan listrik yang lebih besar dan penggunaan sumber energi mengalami peningkatan dengan perkembangan teknologi. Negara berkembang seperti Indonesia memiliki permasalahan listrik di daerah terpencil yaitu kebutuhan listrik yang tinggi dan proses pembangkit listrik yang mahal. Pembangkit listrik mikrohidro power dapat dijadikan solusi yang dapat menembus aksesibilitas terbatas untuk transportasi dan teknologi. (Marliansyah, Putri, Khootama, & Hermansyah, 2018) dan pembangkit listrik berbiaya rendah dan ramah lingkungan yang menjangkau daerah-daerah terpencil serta memperkenalkan pembangkit tenaga listrik mandiri, menggunakan sumber yang dapat diperbarui (Raheem et al., 2016). Upaya tersebut dapat dilakukan dengan menjelajahi semua sumber daya, menyelamatkan dan mengevaluasi potensi pembangkit listrik (Asif, 2009). Sistem tenaga air skala kecil atau sistem mikro-hidro power dengan sumber energi hijau sebagai sumber energi alternatif dan berbagai negara telah merasakan manfaatnya. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan aliran turbin cross flow menjadi menarik karena konstruksinya yang sederhana, mudah, biaya perawatan yang rendah, merupakan sumber energi yang bersih dan ramah lingkungan, serta memiliki perkembangan yang baik di masa depan. Konstruksi turbin cross flow terdiri dari dua bagian yaitu nozzle dan runner. Daya yang dihasilkan oleh turbin merupakan faktor penting dalam pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan tabung sebagai pembangkit listrik dalam menentukan efisiensi produksi. Computational Fluid dynamics (CFD) memberikan analisis yang akurat untuk dapat menghasilkan daya yang efisien pada turbin cross flow) (Bixler, Pease, & Fairhurst, 2007). Prinsip-prinsip tersebut digunakan dengan tiga hukum dasar yaitu hukum kekekalan waktu, hukum kedua Newton / hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi, ketiga hukum tersebut dinyatakan dalam persamaan matematika yang berupa persamaan integral atau diferensial menjadi aljabar diskrit. persamaan (penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian) yang memungkinkan untuk dikerjakan oleh program komputer.

Teknik computational fluid dynamics (CFD) mencapai tinggi tingkat keandalan dan terjadi alat praktis untuk penentuan perilaku operasi berbagai jenis mesin aliran fluida. Teknik computational fluid dynamics (CFD) mencapai tinggi tingkat masalah dan terjadi alat praktis untuk menentukan tindakan perilaku berbagai jenis mesin aliran fluida. Cara ini juga sedang menjadi trend khususnya di bidang energi baru terbarukan khusus hal ini terkait dengan contoh analisis fluida / fluida untuk turbin gas, turbin angin dan turbin air. Computational Fluid dynamics (CFD) software using ANSYS-Fluent 18.0 Pengembangan analisis ini didukung oleh hasil pengujian eksperimental yang menggunakan computational fluid dynamics sebagai alat bantu pemodelan, estimasi, dan analisis perilaku turbin crosflow pada kondisi operasi yang berbeda, dengan software Computational Fluid dynamics (CFD) menggunakan ANSYS-Fluent 18.0 Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan the cross flow turbine power are the blade angle, the number of cross runner blades and the head tube as the production house. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan daya turbin aliran silang yaitu sudut sudu, jumlah sudu pelari dan head tube sebagai rumah produksi.

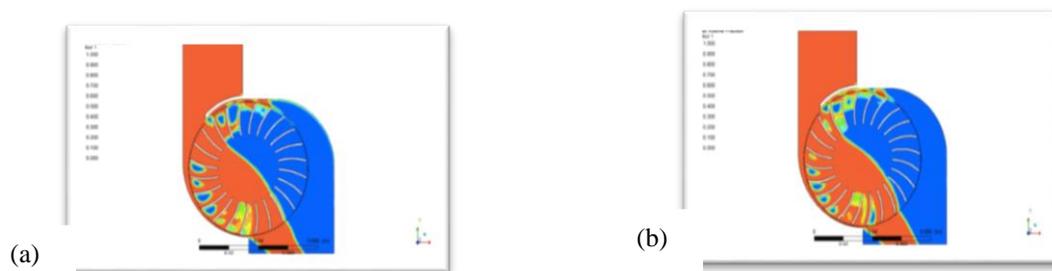
METODE PENELITIAN

Analisis Instalasi Mikrohidro dengan tabung sebagai pembangkit tenaga listrik menggunakan energi air sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin runner. Hal ini dimungkinkan untuk mengatur parameter geometris yang mempengaruhi daya turbin yaitu jumlah sudu, sudut jalan sudu dan kepala generator. Komponen Pembangkit Tabung Mikrohidro terdiri dari Pemasukan berfungsi untuk mengalirkan air ke dalam tabung yang terbuat dari pipa PVC/konstruksi permanen, tabung (Calm) berfungsi untuk menyimpan air yang sementara sebelum dibuang melalui amachine (turbin) sebagai rumah generator (tabung), Overflow saluran berfungsi untuk mengalirkan air ke rumah generator (tabung) guna menjaga kestabilan celah listrik, Mesin (turbin) sebagai generator dipilih sebagai jenis aliran karena mempunyai karakteristik yang sesuai (debit, head dan power house) Saluran buang, saluran ini berfungsi untuk mengarahkan air yang keluar dari turbin agar tidak merusak lokasi pembangkit listrik.

Analisis Data

Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) bekerja berdasarkan Tiga hukum dasar fluida (kekekalan massa, momentum dan energi) secara umum di ekspresikan dalam bentuk persamaan yang berbentuk persamaan integral atau diferensial parsial yang rumit dan sulit untuk diselesaikan secara analitis. Faktanya, algoritma komputer hanya dapat menyelesaikan persamaan-persamaan aljabar seperti penambahan dan pengurangan akan tetapi komputer memiliki kelebihan dibandingkan manusia, yaitu kecepatannya dalam menghitung sangatlah tinggi menjadikan kita mudah untuk memperoleh solusi aliran yang kompleks sekalipun dengan bantuan komputer. Perkembangan teknologi CFD banyak dimanfaatkan sebagai penghubung dunia eksperimen dan teori. CFD biasa digunakan untuk membantu menginterpretasikan dan memahami hasil teori dan eksperimen, begitu juga sebaliknya. Selain fungsi riset, alat CFD juga menjadi trend dalam dunia desain engineering karena kemudahan dan fleksibilitasnya untuk menemukan trend hubungan parameter satu dengan parameter lainnya, sebagai contoh kasus desain impeller dengan variasi sudut, Keunggulan lain adalah pengambilan data pada lokasi dan waktu tertentu tanpa instrumen yang mengganggu pola aliran. Menggunakan CFD, fenomena tersebut dapat dengan sangat mudah kita amati bahkan kita bisa dengan mudah membuat grafik kecepatan atau tekanan didalam garis vortex core tersebut tanpa mengganggu pola aliran.



Gambar 1. Runner Coss flow panjang 130mm dengan sudut blade a: 15^o b: 20^o
(Sumber : Data primer)

Metode *Computational Fluid dynamics* (CFD) merupakan seni melakukan perubahan persamaan dinamika fluida dalam bentuk turunan dan integral menjadi bentuk aljabar diskrit (penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian) yang dapat diselesaikan dengan program komputer. Perkembangan teknologi *Computational Fluid dynamics* (CFD) dapat dimanfaatkan sebagai pelengkap data teoritis dan eksperimental murni. Teori *Computational Fluid Dynamics* (CFD) juga dapat berfungsi sebagai alat penelitian yang sedang menjadi trend di dunia engineering design karena sifatnya yang fleksibel dan mudah dalam menemukan trend dalam kaitannya antara satu parameter dengan parameter lainnya. Ada tiga persamaan yang mengatur dalam dinamika fluida, yaitu persamaan kontinuitas, persamaan momentum, dan persamaan energi. (Zamir & Zamir, 2000); (Tu, Yeoh, & Yeoh, 2013).

Equation for continuity of integral forms,

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho dV + \iint_A \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0(1)$$

Equation for continuity of diverential forms,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0(2)$$

The equation of momentum in the direction of the x axis,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x(3)$$

The equation of momentum in the direction of the y axis,

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y(4)$$

The equation of momentum in the direction of the z axis,

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z(5)$$

The energy equation is written in the form of internal energy,

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \vec{V} \right] = \rho \dot{q} - \frac{\partial(\rho p)}{\partial x} - \frac{\partial(v p)}{\partial y} - \frac{\partial(w p)}{\partial z} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V}(6)$$

Solusi persamaan analitik diferensial parsial menghasilkan ekspresi variabel dependen bentuk dependen kontinu di semua domain. Sebaliknya, solusi

persamaan numerik hanya dapat memberikan nilai pada titik diskrit dalam suatu domain, disebut juga titik kisi.

Geometry dan Meshing / Grinding

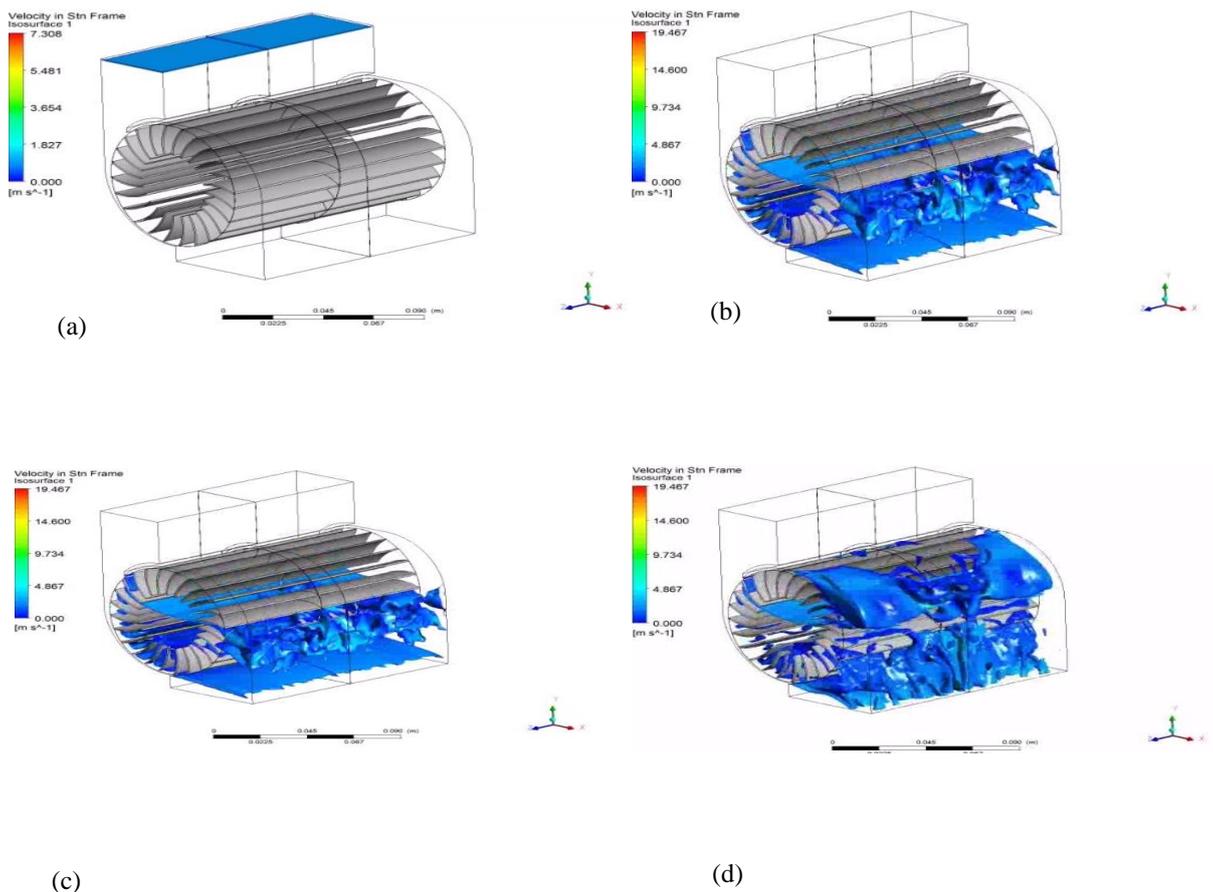
Geometri yang digunakan dalam simulasi ini merepresentasikan model fluida (negative) dari rotor maupun fluida volute. Model dibagi menjadi dua yaitu bagian statis dan bagian yang berputar untuk memfasilitasi gerakan rotor. Representasikan geometri yang digunakan dalam simulasi ini model fluida (negatif) dari rotor maupun fluida volute. Model dibagi menjadi dua yaitu bagian statis dan bagian yang berputar untuk memfasilitasi gerakan rotor (Chung, 2019). Dalam dunia industri software *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berkembang pesat dan pesat tidak hanya untuk analisa kekuatan dan defleksi struktur tetapi sering juga dilakukan dalam menentukan konfigurasi yang optimal berdasarkan interaksi fluida dengan turbin. *Computational Fluid dynamics* (CFD) sangat populer dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan mekanika fluida yang rumit dan kompleks. Maka dalam geometri menggunakan simulasi yang merepresentasikan model fluida (negatif) dari rotor dan volute fluida. Model ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian stator dari bagian yang diam dan bagian yang berputar pada rotor untuk memudahkan pergerakan rotor.

Meshing merupakan proses diskritisasi (penjumlahan, pengurangan, perkalian dan pembagian domain fluida yang terus menerus menjadi domain komputasi diskrit sehingga persamaan aliran fluida dapat diselesaikan / dikerjakan dan menghasilkan penyelesaian dengan metode numerik oleh Bartosiewicz).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah pengaturan komputasi yang digunakan dalam simulasi untuk menghasilkan solusi dari permasalahan mekanika fluida pada turbin crossflow pada *plant microhydro tube*. Model volume fluida ini digunakan untuk dua fluida yang memiliki massa jenis berbeda seperti pada air dan udara. Simulasi ini menyajikan model fluida dengan pengaturan Rotor: pada domain ini digunakan pengaturan sebagai berikut: (Material air, rotasi, arah gravitasi -9,81 ke arah z,

kepadatan referensi = 1000 kg / m³ dan patch inialisasi domain, dengan fraksi volume air = 1). Statis: pada domain ini digunakan beberapa setting sebagai berikut: (Material air, statik, arah gravitasi -9,81 menuju z, densitas referensi = 1000 kg / m³ dan patch inialisasi domain, dengan fraksi volume udara = 1). Inlet Total pressure (stable) = Adjust head: (Input adalah tekanan inlet yang merepresentasikan tekanan head yang digunakan pada generator dalam hal ini = 4 m). Out Put = 0 Pa: (Pada outlet untuk di setting sebagai reservoir aliran sehingga diharapkan semua aliran keluar dari outlet.). Jumlah Iterasi: 1000: (Jumlah iterasi didasarkan pada grafik sisa dan distribusi aliran yang tidak berubah dari iterasi tambahan (tergantung pada kondisi konvergen) proses ini dilakukan setiap 1000 iterasi berulang kali). Simulasi dapat dilakukan untuk menghasilkan data berupa distribusi volume fraksi air yang menyajikan pola aliran yang terjadi pada turbin.



Gambar 2. Distribution of water volume fraction at 15⁰, blade angle a 25%, b: 50%, c: 75% , d: 100% with 24 blade counts (Sumber : Data Primer)

Berdasarkan gambar 2 dapat diketahui bahwa terdapat hubungan non linier antara hubungan daya yang dihasilkan dengan jumlah sudu pada sudut 150 dan 200. Daya tertinggi yang dihasilkan terjadi pada 24 sudu dengan tutupan katub sebesar 100% .Kecepatan kontur diperoleh dengan memasukkan kontur dan lokasi pada bilah menu. Rangkaian Gambar 2 menggambarkan kontur kecepatan pada rentang tengah untuk kecepatan bukaan yang berbeda. Pertimbangan desain turbin adalah efisiensi konversi energinya. (Malkus, 2019) Mengungkapkan bahwa turbin yang diketahui mampu bekerja hingga 90%, tetapi biasanya membutuhkan kepala besar (hingga 27 meter).(De Andrade et al., 2011) juga melaporkan bahwa Cross-flow turbin dapat diterima, dan karena dapat digunakan pembangkit listrik ini karena konstruksinya yang sederhana, biaya rendah investasi awal dan efisiensi sederhana. Menurut penjelasan ini, seluruh aliran yang masuk dari bagian pinggir luar runner ke bilah tingkat pertama mengalir melintasi ruang dalam di tengah runner kemudian mengalir keluar ke sisi lain pinggir luar pelari melalui yang kedua. Aliran balik tahap pertama disebabkan oleh sebagian aliran di sepanjang bagian atas nosel yang tidak dapat menyeberang karena didorong oleh aliran di sepanjang bagian bawah nosel. Akibatnya, aliran di saluran keluar nosel memiliki tekanan yang cukup besar dan bukan jet bebas.(San & Nyi, 2018) mengemukakan bahwa parameter utama seperti sudut saluran masuk nosel, ketinggian ujung nosel dan jarak horizontal dari pusat poros pelari bervariasi untuk kepala yang berbeda sesuai konfigurasi lokasi yang berbeda.

Peningkatan area kontak dengan aliran meningkatkan kontribusi transfer energi tekanan. Sekali lagi, dengan arus desain di mana nosel mengikuti rumah pelari dengan cermat, busur masuk nosel kemungkinan besar akan memberikan tekanan positif ke aliran saat masuk ke tahap pertama. Namun, sejak arus masuk tahap kedua melewati ruang kosong, tahap kedua kemungkinan besar beroperasi tanpa reaksi dan dengan demikian, pengamatan karakteristik reaksi dapat dibatasi hanya pada tahap pertama.(R. Adhikari & Wood, 2018) menemukan konversi total kepala menjadi energi kinetik dalam nozel dan pencocokan desain nozel dan runner adalah dua persyaratan desain utama untuk desain turbin efisiensi tinggi.Turbin aliran silang sebagian besar digunakan dalam sistem tenaga jarak

jauh di negara berkembang, dan memiliki efisiensi yang khas di kisaran 70–85%.(R. C. Adhikari & Wood, 2017) mempresentasikan metodologi untuk mendesain nozel tanpa dasar baling-baling konversi di saluran masuk nozel menjadi energi kinetik saat masuk ke pelari, dengan prinsip yang sama yang mengatur desain nozel Pelton.(Pereira and Borges, 2014) mengkaji tentang beberapa aspek tentang efisiensi turbin dan Cross-Flow mengarah nilai efisiensi eksperimental dan baru dan hasil percobaannya menunjukkan bahwa efisiensi puncak nilai 84,8% dapat dicapai dengan jenis ini turbin.(Verma, Gaba, & Bhowmick, 2017)melaporkan Turbin hidro aliran silang untuk lokasi dengan kepala sedang dan rendah, yang dapat diproduksi secara lokal dengan biaya rendah. Maksimum Efisiensi hidrolis pelari hingga 93% diperoleh pada sudut serang 8° . Efisiensi maksimum diperoleh di jarak ujung nozel minimal 4 cm dari pusat poros runner untuk semua sudut serang lebih besar dari 4° dan untuk semua ketinggian ujung nozel dari pusat poros pelari, tetapi untuk sudut serang yang lebih kecil hingga 4° , efisiensi maksimum dan kecepatan lari maksimum diperoleh pada jarak ujung nozel sekitar 10 cm hingga 15 cm.(Sutikno, Soenoko, Soeparman, & Wahyudi, 2019) merekomendasikan dalam penggunaan nozzle dengan radius kelengkungan atap yang berpusat pada sumbu poros untuk meningkatkan cross efisiensi turbin aliran. Karakteristik turbin aliran silang berubah dengan perubahan busur masuk nozel, laju aliran massa dan kepala.

Untuk mendapatkan turbin aliran silang dengan efisiensi yang maksimal, parameter turbin harus disertakan dalam desain. Parameter tersebut meliputi diameter pelari, panjang pelari, kecepatan lari, daya turbin, ketebalan semburan air, jarak sudu, jumlah sudu, radius kelengkungan sudu, sudut serang dan sudu serta sudut keluar. (Kaunda, Kimambo, & Nielsen, 2014) menentukan pengaruh sudut serang efisiensi dengan sudut serangan sudut 24° serang memberikan efisiensi tertinggi.

Fitur geometri kunci dan pengaruhnya terhadap efisiensi turbin telah dipelajari secara eksperimental, pengetahuan ini tidak langsung membantu merancang turbin efisiensi tinggi, sebagian karena kurangnya pengetahuan tentang detail aliran pelari. Karena sulit dan mahal untuk mengukur dan

memvisualisasikan bidang aliran di pelari, alternatifnya adalah komputasi simulasi. Karena studi yang sedang ditinjau memodelkan seluruh turbin, tampaknya lebih baik untuk ditinjau mereka secara kronologis, bukan berdasarkan fitur tertentu. (Diego & Restrepo, 2014) menunjukkan bahwa turbin dengan parameter geometri yang dipilih memiliki kinerja yang buruk (sekitar 50%) dalam kondisi pengoperasian yang diuji. (Costa Pereira & Borges, 1996) mempresentasikan investigasi 2D-CFD dari aliran air di dalam nosel dan (Choi, Lim, Kim, & Lee, 2008) melakukan simulasi turbin aliran silang keadaan tunak 2D-CFD, dengan mempertimbangkan kondisi aliran air dan udara.

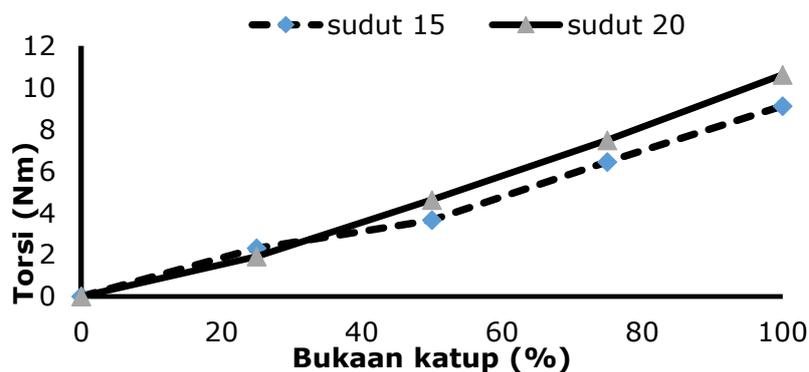
Tabel 1 memperlihatkan bahwa adanya perbedaan jumlah blade 24 dengan perbedaan sudut 15° dan 20° . Sudut blade 15° dan 20° mengalami putaran meningkat seiring dengan bukaan katup dari 0 % ke 100 %. Sudut 15° menghasilkan Q riil turbin pada bukaan katub 100 % lebih rendah (16.83 Lt.det) dari sudut blade 20° (19.83 Lt/det). Gaya Tarik Fta dari sudut blade 15° pada bukaan katub 25 % memiliki nilai lebih tinggi (36 N) dari 20° (26 N), namun pada bukaan kutub 100% menjadi lebih tinggi dari 20° . Gaya tekan dan gaya gesek mempunyai kemiripan yaitu semakin tinggi bukaan katub maka akan semakin tinggi pula gaya tekan dan gaya gesek yang dihasilkan.

Tabel 1. Karakteristik Uji Torsi runner 130mm untuk sudut blade 15° dan 20° pada head 4 m

Jumlah Blade	Sudut Blade	Katub (%)	Putaran (N) (Rpm)	Q riil Tubin (Lt/det)	Gaya Tarik Fta (N)	Gaya Tekan Fte (N)	Gaya gesek Ftg (N)	Torsi (T) (N.m)
24	15°	0	0	0	0	0	0	0
		25	1089	12.12	36	28	18	2.31
		50	1181	13.53	45	33	20	3.66
		75	1188	15.14	55	34	23	6.45
		100	1190	16.83	71	38	45	9.12
	20°	0	0	0	0	0	0	0
		25	1189	13.12	26	18	11	1.91
		50	1201	14.53	35	23	22	4.63
		75	1228	17.14	57	44	33	7.49
		100	1240	19.83	78	40	52	10.62

(Sumber : Data primer)

(Grippa, 2016) menyatakan bahwa nilai dan parameter yang diperhitungkan biasanya adalah kecepatan, massa jenis, panas transfer, kecepatan dan tekanan. Teknik numerik dibutuhkan dalam mencakup banyak asumsi numerik dan fisik untuk menyederhanakan pemodelan yang akurat dari turbin impuls yang mencakup fenomena kompleks seperti aliran permukaan bebas, interaksi multifluida, kerangka acuan berputar, dan aliran bergantung waktu yang tidak stabil dan sudut pandang biaya komputasi (Perrig, Avellan, Kueny, Farhat, & Parkinson, 2006);(Xiao, Cui, Wang, & Yan, 2012).(Wijianto, Rachman, Supriyono, & Muamaroh, 2019) menyatakan bahwa kecepatan aliran 7 sudu adalah 3,56 ms⁻¹, tekanan 6,473 kPa sebelum masuk sudu dan 39,6 kPa setelahnya keluar bilahnya. Sedangkan kecepatan aliran 6 sudu adalah 3,1 ms⁻¹, tekanan sebelum masuk 6,482 kPa blade dan 29 kPa setelah keluar dari blade.



Gambar 4. Perbedaan hubungan bukaan katup (%) dan Torsi (Nm) pada sudut 15⁰ dan 20⁰
(Sumber : Data primer)

Terdapat trend yang hampir sama dimana hubungan linier terjadi pada sudut 20⁰ dengan torsi terbesar pada runner cross flow panjang 130mm dengan jumlah blade 24 pada bukaan katup 100% dengan torsi = 10.62 Nm, sedangkan torsi terkecil pada runner cross flow panjang 130mm dengan jumlah blade 24 pada bukaan katup 25% dengan nilai torsi sebesar = 1,91Nm. Sedangkan pada cross flow sudut blade 15⁰ terdapat ketidaklinier dimana pada bukaan katup 25% beban torsi tinggi 2,31 Nm sedangkan pada bukaan katup 50% beban torsi hanya 3,66 Nm.

(Fiuzat & Akerkar, 1992) meningkatkan efisiensi turbin aliran silang dengan menggunakan tabung pemandu di dalam runner untuk mengumpulkan dan memandu aliran yang melintasi interior Efisiensi turbin dapat ditingkatkan jika upaya dipusatkan pada peningkatan kinerja turbin tahap kedua (Fiuzat & Akerkar, 1992).Sebanyak 27 tunner diuji dengan tiga nozel menunjukkan bahwa efisiensi meningkat dengan peningkatan jumlah bilah bahwa peningkatan sudut serangan melebihi 24 derajat tidak meningkatkan efisiensi turbin maksimum (Desai & Aziz, 1994).(Chen et al., 2012)digunakan droplet breakup dan metode kapiler untuk menemukan bidang aliran pada analisis numerik (CFD) dan menemukan bahwa tekanan udara memainkan peran utama pembentukan tetesan dan masuk ke zona pemesinan. Pembentukan chip dan hanya menggunakan memindahkan sumber panas bahkan saat operasi pemesinan berlangsungdisimulasikan dengan cutting edge yang ditentukan(López De Lacalle, Angulo, Lamikiz, & Sánchez, 2006); (Obikawa, Asano, & Kamata, 2009). (Birhanu Oliy, 2017) melaporkan dengan sudut serang 18, efisiensi maksimum ditemukan konstan 82,52% untuk nilai head dan laju aliran air yang berbeda. Sedangkan pada kasus simulasi CFD efisiensi maksimum menjadi 79% dengan guide vane terbuka penuh, Baling-baling pemandu diatur pada posisi di mana air dibuang melalui runner sepenuhnya dengan semua parameter desain turbin aliran silang dihitung pada efisiensi maksimum dan simulasi dilakukan dengan membuka nilai gerbang turbin pada tahap yang berbeda.(Monatrakul & Suntivarakorn, 2017)Hasil pengujian turbin dan analisis numerik untuk menentukan sudut sudu turbin spiral yang optimalmenunjukkan bahwa di bawah kondisi aliran bebas, sudu-sudu disetel paling sesuai pada 21 derajat, dengan torsi maksimum pada a kecepatan air 2 m/s atau setara dengan 21,58 Nm. Dalam kondisi menggunakan ruang koleksi, maksimal torsi berada pada kecepatan air 2 m/s, setara dengan 24,22 Nm.

KESIMPULAN

The cross-flow turbine is suitable for installing small hydro-electric power plants in case of low head and flow rate. Turbin aliran silang adalah jenis impuls dan digunakan untuk situs head rendah dan menengah. Apalagi, sangat cocok untuk

pembangkit listrik tenaga mikro dan mini karena cukup sederhana untuk dibangun dan kemampuannya mengikuti fluktuasi aliran air yang luas. Dengan menggunakan teknik CFD, dimungkinkan untuk mensimulasikan perilaku aliran permukaan bebas keadaan stabil 3D (air-udara) di dalam rakitan selubung nosel turbin, dapat memvisualisasikan bidang aliran dan mendapatkan sudut aliran di sepanjang nosel. Runner cross flow dengan panjang 130mm dengan sudut blade 20° (Nilai Torsi = 10.62 Nm) mempunyai nilai linier torsi yang baik terhadap bukaan katup dibandingkan dengan runner cross flow dengan sudut blade 15° (Nilai Torsi = 9.12 Nm).

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, R. C., & Wood, D. H. (2017). Energy for Sustainable Development A new nozzle design methodology for high efficiency crossflow hydro turbines. *Energy for Sustainable Development*, 41, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.09.004>
- Adhikari, R., & Wood, D. (2018). The design of high efficiency crossflow hydro turbines: A review and extension. *Energies*, 11(267), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en11020267>
- Asif, M. (2009). Sustainable energy options for Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(4), 903–909. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.04.001>
- Bixler, B., Pease, D., & Fairhurst, F. (2007). The accuracy of computational fluid dynamics analysis of the passive drag of a male swimmer. *Sports Biomechanics*, 6(1), 81–98. <https://doi.org/10.1080/14763140601058581>
- 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. <https://doi.org/10.1299/jfst.3.398>
- Chung, J. (2019). *Numerical Modeling and Analysis of a Hydrokinetic Turbine in a Confined Geometry*. Retrieved from <https://kb.osu.edu/handle/1811/87429>
- Costa Pereira, N. H., & Borges, J. E. (1996). Study of the nozzle flow in a cross-flow turbine. *International Journal of Mechanical Sciences*, 38(3), 283–302. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(95\)00055-0](https://doi.org/10.1016/0020-7403(95)00055-0)
- De Andrade, J., Curiel, C., Kenyery, F., Aguilln, O., Vásquez, A., & Asuaje, M. (2011). Numerical investigation of the internal flow in a Banki turbine.

- International Journal of Rotating Machinery*, 2011, 1–12.
<https://doi.org/10.1155/2011/841214>
- Diego, J., & Restrepo, P. (2014). *Study of the Effect of the Geometrical Parameters of the Runner and Operation Conditions on Performance and Flow Characteristics in a Cross Flow Turbine*.
- Fiuzat, B. A. A., & Akerkar, B. P. (1992). Power outputs of two stages of cross-flow turbine. *Journal of Energy Engineering*, 117(2), 57–70.
- Grippa, M. (2016). *CFD analyses and performance comparison of micro-hydropower plants*.
- Kaunda, C. S., Kimambo, C. Z., & Nielsen, T. K. (2014). Experimental study on a simplified crossflow turbine. *International Journal of Energy and Environment*, 5(2), 155–182.
- Malkus, T. (2019). *Computational Analysis of a Novel Turbine Design for Low Head Hydro Power*.
- Marliansyah, R., Putri, D. N., Khootama, A., & Hermansyah, H. (2018). Optimization potential analysis of micro-hydro power plant (MHPP) from river with low head. *Energy Procedia*, 153, 74–79.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.10.021>
- Monatrakul, W., & Suntivarakorn, R. (2017). Effect of blade on turbine efficiency of a Spiral Horizontal Axis Hydro Turbine. *Energy Procedia*, 138, 811–816.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.075>
- Pereira and Borges. (2014). A Study on the Efficiency of a Cross-Flow Turbine Based on Experimental Measurements. *Recent Advances in Mechanical Engineering*, 63–72.
- Raheem, A., Abbasi, S. A., Memon, A., Samo, S. R., Taufiq-Yap, Y. H., Danquah, M. K., & Harun, R. (2016). Renewable energy deployment to combat energy crisis in Pakistan. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0082-z>
- San, M., & Nyi, N. (2018). Design of Cross Flow Turbine and Analysis of Runners Dimensions on Various Head and Flow Rate. *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, 8(8), 586–593.
<https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.8.2018.p8076>
- Sutikno, D., Soenoko, R., Soeparman, S., & Wahyudi, S. (2019). *The Performance Characteristics of The Low Head Cross Flow Turbine Using Nozzle Roof Curvature Radius Centered on Shaft Axis*. 5, 12–22.
- Tu, J., Yeoh, G.-H., & Yeoh, G.-H. (2013). *Computational Fluid Dynamics : A Practical Approach Second Edition*.

- Verma, V., Gaba, V., & Bhowmick, S. (2017). ScienceDirect ScienceDirect on District Cooling An Experimental Investigation of the Performance Hydro Turbines Assessing the feasibility of using the heat demand-outdoor Vinay function Gaba and district temperature for Kumar a long-term hea. *Energy Procedia*, *141*, 630–634. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.084>
- Xiao, Y. X., Cui, T., Wang, Z. W., & Yan, Z. G. (2012). Numerical simulation of unsteady free surface flow and dynamic performance for a Pelton turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *15*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/15/5/052033>
- Zamir, M., & Zamir, M. (2000). Equations of Fluid Flow. *The Physics of Pulsatile Flow*, 23–37. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1282-9_2