

## ANALISA KINERJA TURBIN ARUS LINTANG DENGAN PENAMBAHAN SPIRAL PENGARAH PADA RUNNER TURBIN

Jusuf Haurissa<sup>1</sup>, Bambang Eko Yulianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Kebumihan  
Universitas Sains dan Teknologi Jayapura  
Jl. Raya Sentani Padang Bulan 99352  
Email :\* [jhaurissa@yahoo.com](mailto:jhaurissa@yahoo.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian sebelumnya, yaitu kontrol flow dari Popescu dkk, dengan menggunakan simulasi ansys. Penelitian yang akan kami lakukan adalah menambah gate pada kontrol flow, kemudian menganalisis seberapa besar pengaruh penambahan gate pada kontrol flow cross flow turbin. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen laboratorium. Kontrol aliran terdiri dari kedap air, gate pengarah untuk menghilangkan perpotongan aliran yang keluar dari sudu-sudu turbin tingkat pertama menuju masuk tingkat kedua dan penghalang akses air ke bagian tengah resirkulasi. Eksperimen penelitian menggunakan 2 model desain penelitian yaitu kontrol aliran dan kontrol aliran ditambah dengan gate. Dengan penambahan gate pada kontrol aliran efisiensi turbin yang diperoleh meningkatkan sebesar 11 %, lebih tinggi dari kontrol aliran tanpa gate. Selain itu juga dengan penambahan gate pada kontrol aliran menghilangkan resirkulasi dan kejutan pada poros di tengah roda jalan (runner turbine).

Keywords: Banki turbine; fluid flow control; hydro system; renewable energy sources.

### 1. PENDAHULUAN

Turbin adalah komponen inti dari sistem tenaga air dan meningkatkan efisiensinya, yang didefinisikan sebagai: rasio daya yang diekstraksi dari air dengan produk dari laju aliran massa, gravitasi, dan tersedia kepala di turbin. Definisi ini digunakan di sebagian besar, tetapi tidak semua, penelitian sebelumnya. Efisiensi memiliki kejelasan tautan ke peningkatan output daya dan pengurangan biaya sistem. Turbin crossflow lebih sederhana dalam desain dan lebih murah untuk diproduksi dibandingkan jenis lain seperti Pelton, Turgo, dan Francis. Turbin aliran silang sebagian besar digunakan dalam sistem tenaga jarak jauh di negara berkembang, dan memiliki efisiensi yang khas di kisaran 70-85%. Meskipun efisiensinya lebih rendah daripada jenis lainnya, turbin crossflow menunjukkan a kurva efisiensi

yang lebih datar dengan kecepatan sudut runner yang bervariasi,  $w$ , yang dapat menjadi keuntungan penting.

Sejak penemuannya oleh Michell pada tahun 1903 [1], masalah desain utama adalah untuk meningkatkan maksimumnya efisiensi, maks. Ulasan ini menyoroti fitur desain yang paling penting dan prinsip desain utama untuk mencapai efisiensi sekitar 90%. Penekanan kami adalah pada mensintesis hasil yang paling desain turbin yang efisien, untuk memberikan dasar untuk desain masa depan.

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi yang ramah lingkungan dan energi terbarukan cukup besar. Salah satu jenis energi terbarukan tersebut adalah tenaga air skala kecil atau di sebut mikrohidro.

Pico Hidro tidak memerlukan head yang besar dapat mewujudkan sistem pembangkit listrik tenaga air yang ramah lingkungan. Turbin aliran silang cocok untuk pembangkit listrik tenaga air kecil, tetapi biasanya dirancang untuk ketinggian kurang dari 2m. < 200 meter. Efisiensi turbin selalu menjadi isu utama bagi para peneliti yang mencari solusi optimal, beberapa di antaranya berfokus pada kondisi pengoperasian head rendah.

Teknologi mikrohidro ini telah dikembangkan oleh masyarakat sebagai sumber energi di Indonesia, potensi ini perlu terus dimanfaatkan. Turbin air lebih aplikatif untuk pembangkit listrik karena sumber energi air relatif lebih konstan dibandingkan energi angin. Pembangkit listrik tenaga air saat ini telah banyak dikembangkan di pedesaan pada aliran sungai kecil, namun masih menggunakan teknologi yang sederhana. Energi pada arus sungai kecil dapat dimanfaatkan untuk penerangan desa. Banyaknya sumber mata air yang tersedia di daerah pegunungan dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik di daerah tersebut. Salah satu turbin pembangkit listrik adalah turbin crossflow. Turbin air merupakan suatu pembangkit yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Sedangkan turbin itu sendiri adalah alat mekanik yang mengubah energi fluida menjadi putaran poros. Turbin terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap atau stationary blade berfungsi untuk mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar rotary blade, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga menghasilkan gaya untuk memutar poros. Air dikondisikan dengan teknik tertentu kemudian dialirkan ke dalam turbin sebagai penggerak mula. Bagian turbin yang disebut sudu-sudu (Blade) akan menerima aliran sehingga akan memutar poros roda jalan (Runner) turbin. Putaran poros runner turbin inilah yang akan ditransmisikan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik.

Peneliti ini yang terkait dengan pengembangan turbin implus khususnya turbin crossflow sudah dilakukan dan dikembangkan pada beberapa peneliti sebelumnya. Popescu, Daniela, Donstantin Popescu, and Andrei Dragomirescu. (2017). "Flow control in banki turbines". Turbin mikro aliran silang peralatan ramah lingkungan. Turbin Banki head rendah dipelajari dalam makalah ini secara numerik dan eksperimental untuk mengidentifikasi alasan mengapa efisiensi turbin buruk pada kecepatan

rotasi rendah. Sebuah prosedur yang terdiri dari pembagian domain aliran menjadi zona berbeda diusulkan untuk memperjelas masalah utama. Efisiensi turbin yang diperoleh secara eksperimental dijelaskan berdasarkan analisis CFD yang mencyoroti pengaruh fenomena resirkulasi dan guncangan.

Legonda, Isack Amos. (2016). "Investigasi tentang karakteristik aliran di turbin aliran silang-T15 300". Studi karakteristik aliran pada turbin cross-flow model T15300 telah dilakukan. Studi ini dirancang untuk memeriksa lintasan aliran fluida di turbin dan mengidentifikasi area untuk perbaikan lebih lanjut. Pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan dan hasilnya dibandingkan dengan data eksperimen. Studi simulasi dilakukan pada sudut guide vane 25%, 30%, 35% dan 41%. Diameter poros ditetapkan sebesar 30 mm, 45 mm, 60mm, dan 75 mm untuk masing-masing head sedangkan head dipertahankan pada 50 mm. Karakteristik aliran ditentukan menggunakan lintasan partikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut baling-baling dan diameter poros yang optimal untuk turbin aliran silang masing-masing adalah 41mm dan 45 mm. Hasil ini sesuai dengan data eksperimen dari penelitian sebelumnya.

Legonda, Isack Amos. (2016). "Investigasi tentang karakteristik aliran di turbin aliran silang-T15 300". Studi karakteristik aliran pada turbin cross-flow model T15300 telah dilakukan. Studi ini dirancang untuk memeriksa lintasan aliran fluida di turbin dan mengidentifikasi area untuk perbaikan lebih lanjut. Pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan dan hasilnya dibandingkan dengan data eksperimen. Studi simulasi dilakukan pada sudut guide vane 25%, 35%, 40% dan 45%. Diameter poros ditetapkan sebesar 30 mm, 45 mm, 60mm, dan 75 mm untuk masing-masing head sedangkan head dipertahankan pada 50 m. Karakteristik aliran ditentukan menggunakan lintasan partikel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut baling-baling dan diameter poros yang optimal untuk turbin aliran silang masing-masing adalah 41mm dan 45 mm. Hasil ini sesuai dengan data eksperimen dari penelitian sebelumnya.

Mafruddin, and Dwi Irawan. (2014). "Pembuatan turbin mikrohidro tipe cross-flow sebagai pembangkit listrik di desa bumi nabung timur". Krisis energi yang terjadi di dunia saat ini telah menarik perhatian para peneliti untuk menemukan sumber-sumber energi baru yang lebih murah, yang tersedia dalam jumlah yang

besar. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini. Turbin cross-flow, merupakan salah satu jenis turbin yang sering digunakan untuk PLTMH. Dalam penelitian ini merencanakan turbin air tipe cross-flow yang diaplikasikan pada air pembuangan perusahaan pembuatan tepung tapioka. Air pembuangan tersebut merupakan air limbah yang sudah melalui proses pengendapan, pemupukan dan pemeriksaan yang kemudian dialirkan kesungai dengan debit rata-rata 0,04 m<sup>3</sup>/s dengan ketinggian di atas permukaan air sungai lebih dari 2 m. Dengan debit dan ketinggian tersebut air pembuangan memiliki daya yang cukup besar yang kemudian digunakan untuk memutar turbin air. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui spesifikasi turbin, daya yang dihasilkan turbin, efisiensi turbin dan transmisi serta daya listrik yang dihasilkan generator. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu studi pustaka, pengamatan secara langsung atau observasi, perencanaan dan pembuatan turbin serta pengujian. Pada tahap perencanaan yaitu menentukan dimensi turbin berdasarkan sumber daya air pada lokasi penelitian dan proses perhitungan. Pada tahap pengujian yaitu melakukan pengujian turbin yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian daya turbin dan daya listrik generator. Turbin air cross-flow memiliki spesifikasi yaitu lebar runner 0,1524 m, diameter luar runner 0,48 m, diameter dalam runner 0,32 m, jarak antar sudu 0,083 m, tebal nozzle 0,04 m, jari-jari sudu 0,078 m dan jumlah sudu yaitu 20 sudu. Dari hasil pengujian turbin cross-flow didapatkan daya turbin yaitu 236,82 Watt, efisiensi mekanik turbin yaitu 30 % dan daya listrik yang dihasilkan 162 Watt.

Suryono, Edy, and Agustinus Eko Budi Nusantara. (2017). "Simulasi turbin crossflow dengan jumlah sudu 18 sebagai pembangkit listrik picohydro". Dewasa ini isu krisis energi terus berkembang, dimana dibutuhkan energi terbarukan agar dapat menggantikan energi fosil yang menurut perkiraan akan segera habis, sehingga apabila tidak ada energi yang terbarukan maka manusia akan kekurangan energi. Salah satu upaya pengembangan energi terbarukan adalah dengan pengembangan pembangkit listrik bertenaga air yang bernama Picohydro, dimana Picohydro ini dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW. Hal ini terutama diaplikasikan untuk debit air yang rendah.

Penelitian ini ditujukan untuk mensimulasikan turbin crossflow pada komponen pembangkit Picohydro. Turbin berdiameter 0,135 m, diameter shaft 0,03 m, diameter inlet 0,04 m dan jumlah sudu sebanyak 18 buah. Simulasi menggunakan software desain dan CFD Fluent. Desain terdiri dari inlet, outlet, fluida rotate dan wall. Inlet diatur dengan kecepatan 6 m/s, turbulent intensity 5% dan hydraulic diameter 0,04 m. Fluida rotate diseting pada kondisi moving reference frame. Equisize skew mesh diatur dengan rentang nilai 0-1 dan aspect ratio mesh dari desain bernilai 1-3. Simulasi dari turbin crossflow dengan sudu 18 buah menghasilkan kecepatan rotasi sudu sebesar 16,5 rad/s atau angular velocity sebesar 157,5633 rpm, dan momen sebesar 290,39 Nm. Sehingga daya optimal yang dihasilkan adalah sebesar 4791 watt (4,791 kW).

Saleh, Zulkiffli, et al. (2019). "Analisis karakteristik turbin crossflow kapasitas 5 kW". Turbin crossflow dikelompokkan dalam jenis turbin skala mikro dengan rentang tinggi jatuh efektif aliran dibawah 30 m, dengan sudut peletakan turbin maksimal 30°. Kajian penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik turbin crossflow kapasitas 5 kW. Metode penelitian kasus berdasarkan pengumpulan data pada objek kajian. Kesimpulan yang disarikan dari kajian penelitian tersebut berupa kecenderungan kenaikan putaran poros turbin berbanding dengan penambahan kecepatan alir fluida. Fenomena ini cukup signifikan dengan karakteristik kurva turbin crossflow. Indikasi perubahan daya terbangkitkan yang diakibatkan oleh perubahan putaran pada poros turbin yang beragam disebabkan oleh heterogenitas aliran pada saluran pembawa. Karakteristik mekanis menghasilkan putaran sebesar 256,30 rpm dan daya yang terbangkitkan pada turbin sebesar 4,88 kW.

Mockmore dan Merryfield [5] melakukan uji eksperimental pada turbin Banki yang keluar dari nozzle dengan diameter  $D = 332$  mm dan panjang  $L = 305$  mm pada tekanan atmosfer. Turbin mereka mencapai efisiensi maksimum 68% pada head  $H = 5$  m dan laju aliran  $Q = 62$  l/s.

Durgin dan Fay [6] membangun turbin kecil dengan casing tekanan Plexiglas dan impeller terbuka. Efisiensi maksimum dalam hal ini adalah 61.

Untuk solusi konstruksi lainnya, pengujian yang dilakukan oleh Van Dixhorn [7] menunjukkan efisiensi maksimum dalam kisaran 60-70% pada head yang sangat rendah kurang dari 1 m. <2.6m

Aziz dan Desai [8] mempelajari 27 turbin pico aliran silang di Laboratorium Hidrolik Universitas Clemson. Efisiensi maksimum berkisar dari 47% hingga 76% tergantung pada jumlah bilah, rasio diameter dalam ke luar, dan sudut serang. Menggabungkan hasil studi mereka, Desai et al. [9] Prototipe yang diusulkan dikatakan mencapai efisiensi hingga 84%.

Sebuah studi pada empat turbin cross-flow yang dilakukan oleh Olgun [10] menunjukkan bahwa turbin dapat mencapai efisiensi 72% pada head  $H = 8$  m. Dalam studi eksperimental yang dilakukan di Universitas Sains dan Teknologi Norwegia, Walseth [11] mencapai efisiensi 75% pada head  $H = 5$  m.

Studi numerik baru-baru ini dilakukan untuk melengkapi studi eksperimental, yang menegaskan bahwa head rendah membatasi efisiensi turbin hingga nilai sederhana. Andrade dkk. [12] melakukan studi numerik pada turbin Banki dan efisiensi tertinggi yang dicapai adalah 75%.

Dari penelitian diatas penulis selanjutnya akan menanalisa kinerja dan kestabilan putaran turbin cross flow ini dengan penambahan control flow aliran yang dirancang untuk menghindari resirkulasi di zona dan untuk mengarahkan air dengan lebih baik dari sisi bawah zona dalam area sudu (blade) lintasan kedua, sehingga meningkatkan peluang untuk transfer energi yang lebih efisien.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Metode kontrol aliran

Turbin aliran silang kurang berperforma dibandingkan dengan jenis turbin lainnya, karena desainnya yang membuat air melewati saluran sudu runner dua kali. Selama lintasan pertama, pada tahap pertama perpindahan energi, efisiensinya baik, karena sudut serang pada masuknya lintasan sudu dapat dikontrol dengan merancang dengan benar nozzle dan kelengkungan bilah. Setelah lintasan pertama, aliran air melalui bagian dalam pelari dapat menunjukkan lintasan yang kacau dan sudut serang pada entri kedua ke lintasan sudu sulit untuk diperkirakan. Hal ini menyebabkan kerugian kejut dan, akibatnya, transfer energi yang buruk selama lintasan kedua.

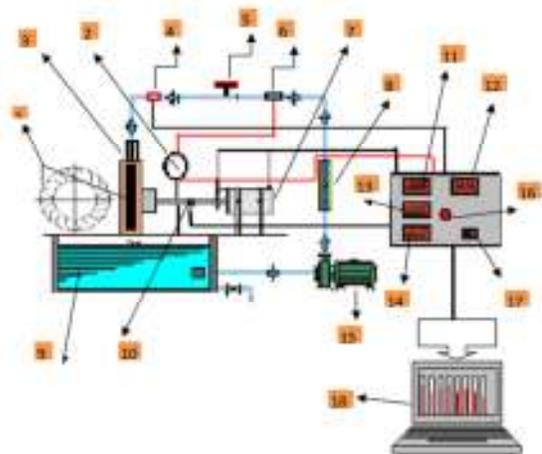
Studi sebelumnya, yang dikembangkan oleh para peneliti untuk mengontrol aliran di zona dalam sebanyak mungkin, mengusulkan perangkat internal yang berbeda untuk dipasang di sana. Sebuah paten yang dibuat oleh Kuenzel

[13] menyajikan turbin air dengan saluran internal yang menangkap aliran di pintu keluar lintasan pertama dan mengalirkannya melalui saluran pemandu ke sudu-sudu tempat lintasan kedua dimulai. Tsutomu dkk. [14] mengusulkan untuk memasukkan pelat pengatur pada poros turbin aliran silang untuk meningkatkan sudut serang pada masuknya lintasan kedua. Solusi menarik lainnya yang dikembangkan oleh Takashi [15], untuk mencapai arah yang konstan di pintu keluar lintasan pertama dan pada masuknya lintasan kedua, adalah memasang baling-baling pemandu tetap di dalam zona dalam, yang konsentris dengan bilah pelari.

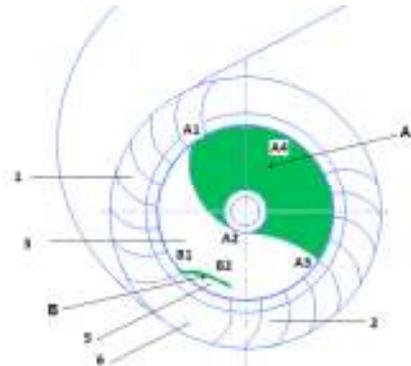
Pada tahun 90-an, beberapa peneliti di Universitas Clemson [16, 17] mengusulkan dan menguji tabung pemandu interior yang meningkatkan efisiensi hingga 5%, dengan lebih mengarahkan aliran air yang keluar dari bilah setelah lintasan pertama menuju lintasan kedua. Studi mereka juga menyoroti pentingnya kerugian yang disebabkan oleh dampak aliran air pada poros.

Untuk mengatasi masalah kerugian dampak, Sinagra et al. [18, 19] mengusulkan turbin aliran silang tanpa poros. Mereka melakukan tes numerik dan eksperimental pada prototipe, dengan dan tanpa poros. Menurut hasil mereka, peningkatan efisiensi 5% dimungkinkan dengan menghilangkan kerugian dampak yang disebabkan oleh poros.

### 2.2. Alat Dan Bahan



Gambar 2. Skematik alat turbin cross-flow



**Gambar 3. Desain Control Aliran**  
 (Popescu, Daniela, Donstantin Popescu, and Andrei Dragomirescu. (2017)



**Gambar 4. Desain Control Aliran**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian turbin cross-flow ini, dilakukan pengujian dengan bukaan nozel 25 %, 50 %, 75% dan 100%, dengan masing-masing bukaan diberikan beban 1N, 2N, 3N, 4N. Pengujian dilakukan untuk 2 model runner turbin yaitu tanpa menggunakan control aliran dan menggunakan control aliran. Dari hasil penelitian turbin *cross-flow* sesuai dengan tahapan yang tersebut diatas, percobaan dilakukan sebanyak 2 kali dan ada baiknya jika dilakukan percobaan sebanyak-banyaknya.

Persamaan-persamaan yang di gunakan dalam penelitian ini :

#### 1. Kecepatan rata-rata aliran

$$V_m = \frac{Q}{S_m} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(1)$$

#### 2. Head kecepatan

$$(H_{kin}) = \frac{V_m^2}{2.g} \text{ (m)} \dots\dots\dots(2)$$

#### 3. Head tekanan air

$$(H_{pres}) = \frac{P_d}{\rho} \text{ (m)} \dots\dots\dots(3)$$

#### 4. Daya masuk

$$P_{in} = \gamma.Q.H_{tot} \dots\dots\dots(5)$$

#### 5. Daya keluar

$$P_{out} = \frac{2.\pi.n.T}{60} \dots\dots\dots(6)$$

#### 6. Efisiensi Turbin

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(7)$$

#### 7. Torsi Turbin

$$T = F \times L \dots\dots\dots(8)$$

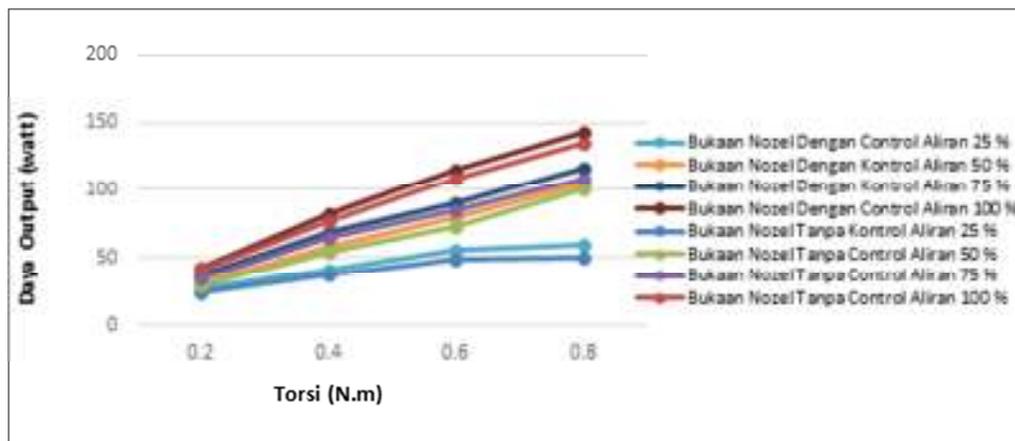
**Tabel 1. Pengolahan Data Turbin Cross Flow Tanpa Control Aliran**

Bukaan	Beban	Putaran	T	P <sub>out</sub>
%	( N )	( rpm )	( N.m )	( W )
25%	1	1173,67	0,2	24,569
	2	893,73	0,4	37,418
	3	788,25	0,6	49,502
	4	606,06	0,8	50,748
50%	1	1386,00	0,2	29,014
	2	1309,00	0,4	54,805
	3	1165,60	0,6	73,20
	4	1205,37	0,8	100,929
75%	1	1668,40	0,2	34,925
	2	1552,03	0,4	64,978

	3	1344,33	0,6	84,424
	4	1293,43	0,8	108,303
100%	1	1959,53	0,2	41,019
	2	1849,90	0,4	77,449
	3	1731,17	0,6	108,717
	4	1613,50	0,8	135,103

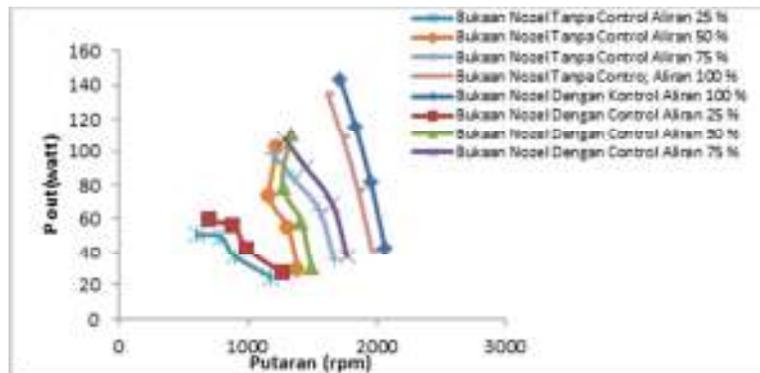
**Tabel 2. Pengolahan Data Turbin Cross Flow Dengan Control Aliran**

Bukaan %	Beban ( N )	Putaran ( rpm )	T ( N.m )	P <sub>out</sub> ( W )
25%	1	1273,667	0,2	26,662089
	2	993,730	0,4	41,604163
	3	888,247	0,6	55,781891
	4	706,063	0,8	59,121036
50%	1	1486	0,2	31,106933
	2	1409	0,4	58,990133
	3	1265,6	0,6	79,47968
	4	1246,366	0,8	104,36244
75%	1	1768,4	0,2	37,018507
	2	1652,033	0,4	69,165115
	3	1444,33	0,6	90,703924
	4	1393,43	0,8	116,67654
100%	1	2059,53	0,2	43,112828
	2	1949,9	0,4	81,635813
	3	1831,17	0,6	114,99748
	4	1713,5	0,8	143,47707



**Gambar 5. Torsi Terhadap Daya Turbin**

Pada gambar 5. terlihat besar daya keluar turbin ( $P_{out}$ ) untuk turbin yang menggunakan control aliran lebih besar dari tanpa menggunakan control aliran. Hal ini terjadi karena pancaran air dari sudu keluar tingkat pertama, tidak mengalami hambatan menuju sudu masuk tingkat ke dua, dan juga mengakibatkan torsi meningkat. Besarnya daya turbin ( $P_{out}$ ) dipengaruhi oleh torsi, semakin besar torsi maka daya turbin akan meningkat.



Gambar 6. Putaran Terhadap Daya Turbin

Pada gambar 6. terlihat besar daya keluar turbin ( $P_{out}$ ) untuk turbin yang menggunakan control aliran lebih besar dari tanpa menggunakan control aliran. Hal ini terjadi karena pancaran air dari sudu keluar tingkat pertama, tidak mengalami hambatan menuju sudu masuk tingkat ke dua, dan juga mengakibatkan putaran meningkat. Besarnya daya turbin ( $P_{out}$ ) dipengaruhi oleh putaran, semakin besar putaran maka daya turbin akan meningkat.

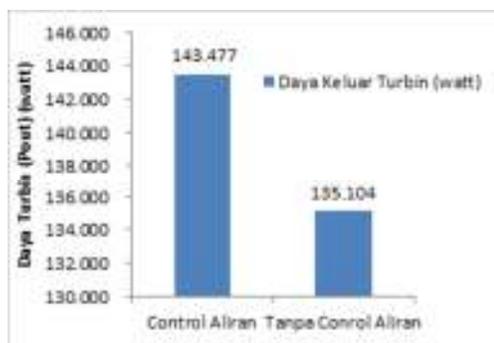


Gambar 8. Efisiensi Turbin

Tabel 3. Daya Turbin dan Efisiensi

Efisiensi	Control Aliran	Tanpa Control Aliran
	65,958 %	62,109 %

Daya out	Control Aliran	Tanpa Control Aliran
	143,477 watt	135,104 watt



Gambar 7 . Daya Turbin

#### 4. KESIMPULAN.

Hasil dari penelitian adalah :

Dengan penambahan Cotrol Aliran pada runner turbin, pancaran aliran dari tingkat pertama ke tingkat kedua, tidak lagi saling berpotongan ditengah runner turbin dan lebih terarah masuk sudu masuk tingkat kedua dan putaran turbin lebih stabil. Hal ini juga akan meningkatkan putaran turbin dan torsi daya turbin. Penambahan control aliran peningkatan efisiensi sebesar 11 %

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Popescu, Daniela, Donstantin Popescu, Andrei Dragomirescu, Bambang Eko Julianto. (2021). "Flow control in banki turbines".
- [2] Saleh, Zulkiffli, et al. (2019). "Analisis karakteristik turbin crossflow kapasitas 5 kw
- [3] Popescu, Daniela, Donstantin Popescu, and Andrei Dragomirescu. (2017). "Flow control in banki turbines".

- [4] **Suryono, Edy, and Agustinus Eko Budi Nusantara. (2017).** "Simulasi turbin crossflow dengan jumlah sudu 18 sebagai pembangkit listrik picohydro".
- [5] **Legonda, isack amos. (2016).** "Investigasi tentang karakteristik aliran di turbin aliran silang-T15 300
- [6] **Mafruddin, and Dwi Irawan. (2014).** "Pembuatan turbin mikrohidro tipe cross-flow sebagai pembangkit listrik di desa bumi nabung timur".
- [7] IEA. (2016) "World Energy Outlook 2016".
- [8] Paish, Oliver. (2002) "Small hydro power: technology and current status." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6.6 (2002): 537– 556.
- [9] 2009/28/EC, "Directive of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC." *Official Journal of the European Union* L 140 (2009): 16-62.
- [10] Bánki, Donat (1922) "Water turbine." U.S. Patent 1436933.
- [11] Mockmore, C.A., and Fred Merryfield. (1949) "The Banki Turbine." *Oregon Engineering Experiment Station Bulletin Series* 25 (1949): 1-27.
- [12] Durgin, W.W., and W.K. Fay. (1984) "Some fluid flow characteristics of a cross flow type hydraulic turbine." *Small Hydro Power Machinery* (1984): 77-83.
- [13] Van Dixhorn, L.R. (1984) "Experimental Determination of Blade Forces in a Cross-flow Turbine." PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [14] Aziz, N.M., and Venkappayya R. Desai. (1991) "An Experimental Study of the Effect of Some Design Parameters in Cross Flow Turbine Efficiency." Engineering report, Department of Civil Engineering, Clemson University.
- [15] Desai, Venkappayya R., and Nadim Aziz. (1994) "An experimental investigation of cross-flow turbine efficiency." *Journal of Fluids Engineering* 116 (1994): 545-550.
- [16] Olgun, Hayati. (1998) "Investigation of the Performance of a Cross Flow Turbine." *International Journal of Energy Research* 22.11 (1998): 953-964.
- [17] Walseth, Eve Cathrin (2009) "Investigation of the Flow through the Runner of a Cross-Flow Turbine". MSc thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- [18] De Andrade, Jesús, Christian Curiel, Frank Kenyery, Orlando Aguillón, Auristela Vásquez, and Miguel Asuaje. (2011) "Numerical Investigation of the Internal Flow in a Banki Turbine." *International Journal of Rotating Machinery* 2011 (2011): 1-12.
- [19] Kuenzel, Max. (1923) "Vorrichtung fuer doppelte Beaufschlagung von Wasserturbinen nach System Banki.". Patent DE380018C.
- [20] Tsutomu, Okuzawa, Yamabe Masahiro, and Itou Shigeo. (1981) "Flow-through type hydraulic machine." Patent JPS56167859A.
- [21] Takashi, Oogawara. (1984) "Cross flow water-wheel." Patent JPS5977081A.
- [22] Desai, Venkappayya R. , Nadim M. Aziz, and Abbas A. Fiuzat. (1993) "Findings ways to make cross flow turbines more efficient." *Hydro Review* August 1993: 130-135.
- [23] Fiuzat, Abbas A. and B. Akerkar. (1989) "The Use of Interior Guide Tube in Cross-Flow Turbines", in *Proceedings of the International Conference on Hydropower, Waterpower '89*, ASCE, vol. 2, Niagara Falls, New York, August 1989.
- [24] Sinagra, M., V. Sammartano, C. Aricò., A. Collura, and T. Tucciarelli. (2014) "Cross-Flow turbine design for variable operating conditions." *Procedia Engineering* 70 (2014): 1539-1548.
- [25] Sinagra, M., V. Sammartano, C. Arico, and A. Collura. (2015) "Experimental and Numerical Analysis of a Cross Flow Turbine." *Journal of Hydraulic Engineering* 142.1 (2015): 04015040.