

PENGARUH BESAR SUDUT BUTTERFLY GUIDE TERHADAP UNJUK KERJA KINCIR AIR

Dovian Iswanda

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
dovian12@gmail.com

Rudy Soenoko

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
rudysoen@ub.ac.id

Winarto

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
winarto@ub.ac.id

Alfeus Sunarso

Tenaga Pengajar (Dosen)
Politeknik Negeri Pontianak
Jurusan Teknik Mesin
sunarso@dosen.polnep.ac.id

In this work, the effects of geometry transition of the upstream channel on the performance of an undershot water wheel were investigated. For that purpose, we carried out experiments using an undershot water wheel model with a diameter of $\varnothing=480$ mm, the width of $l=100$ mm, the number of blades of 12, and the radius of blade curvature of $R=170$ mm, which was installed on a flow channel with the width of 250 mm. The upstream channel was modified by installing flow guides with different entry angles ($\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$, and $\alpha=60^\circ$), and their effects were investigated by measuring the mechanical power of the water wheel and capturing the flow pattern at the upstream of the water wheel, under the flow rates of $Q=10$ l/s and $Q=14$ l/s. The experimental results show that the higher the flow rate, the stronger the effects of the flow guides on the performance of the water wheel. Under the considered experimental conditions, the highest performance was achieved for the flow guide with entry angles of $\alpha=30^\circ$ at the flow rate of $Q=14$ l/s, for which the water wheel produces mechanical power of 22 Watt with an efficiency of 40,37%. It can be observed that the flow guide with the gradual transition (lower entry angle) introduces a more uniform flow pattern that results in a higher water wheel performance, while the flow guide with the sharp transition (higher entry angle) introduces the crossing flow pattern that reduces the performance of the water wheel.

Keywords : Waterwheel, Flowguide, Undershot, Efficiency.

1. PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya alam yang memiliki fungsi sangat penting bagi hidup dan kehidupan seluruh makhluk hidup, termasuk manusia. Air juga menjadi salah satu sumber daya alam yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit energi terbarukan. Energi terbarukan ini dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti batubara, bensin, LPG, dan lain-lain yang semakin lama akan menipis, disisi lain energi terbarukan ini juga dapat mengurangi dampak efek rumah kaca. Pada tahun 2018 kementerian ESDM membuat 75 kontrak baru untuk pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi baru terbarukan dengan total 1.206,52 MW [1]. PLTA menyumbang 1.104 MW dan minihidro 287,8 MW [2]. Potensi energi air (*hydropower*) sangat besar, di Kalimantan Barat saja sebesar 1.285 MW, sedangkan yang dimanfaatkan baru 26 MW.

Dalam pemanfaatan air sebagai sumber energi diperlukan salah satunya kincir air yang digunakan untuk merubah energi potensial air yang mengalir menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros. Untuk menghasilkan efisiensi dan unjuk kerja kincir yang optimal maka kincir air tersebut perlu di desain sedemikian rupa agar bekerja secara optimal. Kincir air banyak mempunyai keuntungan diantaranya pemasangannya murah dan periode kembalinya investasi cepat, kincir air ramah terhadap habitat ikan dan tidak membutuhkan bendungan penyimpanan air yang besar. Selain itu, karena bentuknya yang sederhana kincir air *undershot* merupakan turbin yang ekonomis, dan banyak komunitas yang mengetahui teknologi ini [3], sehingga cocok untuk aplikasi di daerah terpencil [4].

Ada banyak penelitian tentang kincir air untuk menguji kinerjanya. Penelitian dengan simulasi dan eksperimen pada kincir air *undershot* (arus bawah) menunjukkan bahwa kinerja kincir dipengaruhi oleh kedalaman pencelupan. Efisiensi optimum 18,05% didapat pada rasio kedalaman pencelupan terhadap jari-jari 82,76% pada *tip speed ratio* 0.1984 [5]. Unjuk kerja kincir air dengan memanfaatkan *head* yang rendah dapat ditingkatkan dengan menggunakan selubung atas [6]. Unjuk kerja Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai (PLTAS) menunjukkan bahwa dengan penambahan pembukaan pintu air, debit air yang masuk ke saluran kincir meningkat, sehingga daya yang dihasilkan PLTAS juga meningkat. Pada kondisi pembukaan pintu air tertentu, daya yang dihasilkan pembangkit cenderung meningkat dengan peningkatan beban [7]. Penelitian dengan memakai pendekatan teoritis menunjukkan bahwa kerugian daya yang besar terjadi karena hilangnya energi kinetik aliran pada sudu dan kerugian hidraulik di saluran *headrace* [8]. Oleh karena itu, desain geometri saluran masuk dan sudu yang lebih baik dapat meningkatkan efisiensi kincir air [9].

Berdasarkan hasil penelitian diatas bahwa debit, geometri kincir dan bentuk saluran masuk sangat berpengaruh terhadap kinerja kincir air. Pada pembangkit mikro hidro aliran air dari sungai yang lebar diarahkan pada saluran kincir yang lebih kecil. Saluran kincir biasanya dibuat lebih besar dari ukuran kincir yang dapat menimbulkan celah antara dinding saluran dan kincir sehingga menyebabkan air melewati celah tanpa menumbuk sudu kincir. Kebocoran tersebut membuat debit tidak optimum ketika menumbuk sudu kincir. Hal itu akan berpengaruh terhadap berkurangnya massa aliran yang menumbuk sudu, menyebabkan kecepatan tangensial pada kincir tidak optimal.

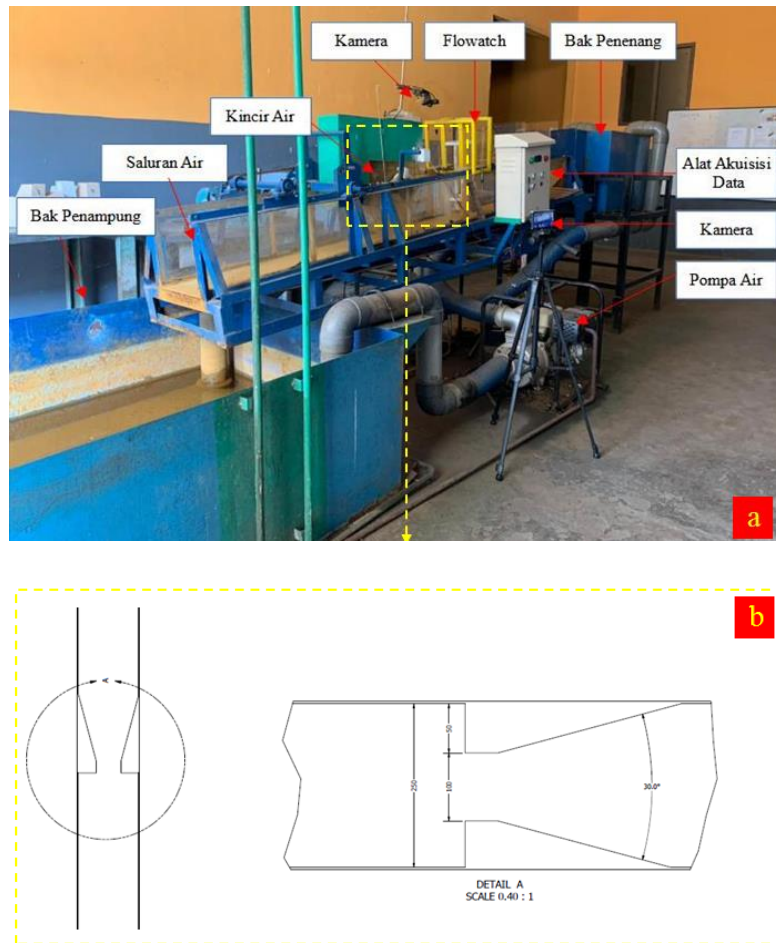
Untuk itu, dibuat mekanisme yang mengarahkan aliran dari aliran sungai yang lebar ke saluran kincir yang kecil agar tidak melewati sisi samping kincir. Dengan memberikan pengarah aliran tipe *butterfly guide* yang berbentuk lebar pada bagian hulu saluran dan mengecil pada bagian hilir maka akan meminimalisir kebocoran pada sisi samping kincir. Sehingga perlu penelitian guna mempelajari pengaruh penambahan pengarah aliran terhadap kinerja kincir air. Selain itu karena terjadi perubahan geometri pada pengarah maka terjadi peningkatan kecepatan aliran. Perubahan pola aliran akibat perubahan geometri pada pengarah juga akan di tinjau secara visual. Ketika fluida melawati geometri saluran yang berubah secara tiba-tiba maka akan terjadi turbulensi pada aliran. Hal itu menyebabkan arah aliran tidak lagi terkontrol sehingga diperlukan sudut pengarah yang sesuai untuk meminimalkan terjadinya turbulensi.

2. METODE DAN BAHAN

Pengujian dilakukan pada alat uji unjuk kerja kincir air di Laboratorium Fluida Politeknik Negeri Pontianak, instalasi alat uji dapat dilihat pada gambar 1 terdiri dari sistem sirkulasi air dilengkapi oleh satu buah pompa dengan kapasitas 20 liter/detik, putaran maksimal 3000 rpm, pipa penghubung berdiameter 10 cm, bak penenang (dibagian atas), saluran eksperimen, dan bak penampung (dibagian bawah) serta kamera untuk merekam perubahan pola aliran pada setiap variasi pengarah aliran. Debit diatur dengan mengatur kecepatan putar pompa air yang sebelumnya sudah di kalibrasi dengan mengukur debit aliran pada setiap kondisi putaran pompa.

Pengujian diawali dengan memasang salah satu variasi pengarah aliran, selanjutnya diamati efek penambahan pengarah aliran terhadap perubahan pola aliran dan unjuk kerja kincir air. Untuk mengetahui kinerja kincir air perlu beberapa parameter diantaranya putaran kincir (n), kecepatan aliran (v), dan besar gaya pengereman (F_B). Untuk mengukur putaran kincir, sensor *proximity* dipasang menghadap piringan dengan 15 tonjolan logam yang berputar bersama poros turbin. Frekuensi putaran kincir air diperoleh dengan mengukur jumlah pulsa tegangan per detik dan membagi nilai tersebut dengan 15. Untuk mengetahui daya mekanis dari turbin maka dilakukan pengukuran torsi dari poros dengan cara memberi gaya pengereman pada poros yang selanjutnya gaya tersebut diukur oleh *load cell*.

Sedangkan untuk melihat perubahan pola aliran pada setiap kondisi waktu dipasang dua buah kamera pada sisi samping dan atas saluran air. Data pengujian diperoleh dengan melakukan pengereman pada poros kincir air yang berputar sebagai beban, gaya pengereman yang diberikan pada poros dimulai dari 1 Newton hingga kincir berhenti berputar. Untuk memastikan konsistensi data hasil pengujian maka setiap data di ambil lebih dari satu kali. Data pengujian berupa gaya pengereman (F_b), putaran (n), debit (Q), dan rekaman video pola aliran untuk masing-masing variasi. Sudut pengarah aliran di buat bervariasi yaitu $\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$, $\alpha=60^\circ$ (Gambar 1) sedangkan debit air adalah 10 l/s dan 14 l/s. Prototipe kincir air yang digunakan pada eksperimen ini adalah kincir dengan diameter $\varnothing=480$ mm, l =lebar 100 mm, jumlah sudu 12 bilah, dan radius kelengkungan sudu $R=170$ mm.



Gambar 1: (a) Instalasi alat uji kincir air (b) *Butterfly guide* sudut $\alpha=30^\circ$

Hasil eksperimen diolah untuk menghitung efisiensi kincir yang merupakan rasio antara daya keluaran kincir (daya mekanis) dan daya masukan kincir (daya hidrolis). Energi masuk kincir dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$P_{in} = \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \tag{1}$$

Keterangan :

- P_{in} =Daya hidrolis (Watt)
- ρ =Massa jenis air (998 kg/m^3)
- g =Percepatan gravitasi (m/s^2)
- h =Head (m)
- Q =Debit aliran (m^3/s)

Dimana h (0.3 m) adalah selisih ketinggian antara permukaan air bak penampung pada bagian atas dengan tinggi permukaan air sebelum masuk ke kincir, g kecepatan gravitasi, Q debit air, dan ρ adalah massa jenis air (998 kg/m^3). Sementara untuk menghitung daya keluaran kincir didapat dari gaya pengereman (F_B), putaran kincir n (rpm) dan jari-jari puli pengereman r (0.098 m) (persamaan 2).

$$P_{out} = \frac{\pi n r F_B}{30} \tag{2}$$

Keterangan :

- P_{out} =Daya kincir (Watt)
- T =Torsi (Nm)
- r =Jari-jari puli pengereman (m)
- n =Putaran poros atau roda turbin (rpm)

F_B =Gaya pengereman (N)

Dengan demikian, untuk menghitung efisiensi kincir η dapat dihitung dengan persamaan 3

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{3}$$

Keterangan :

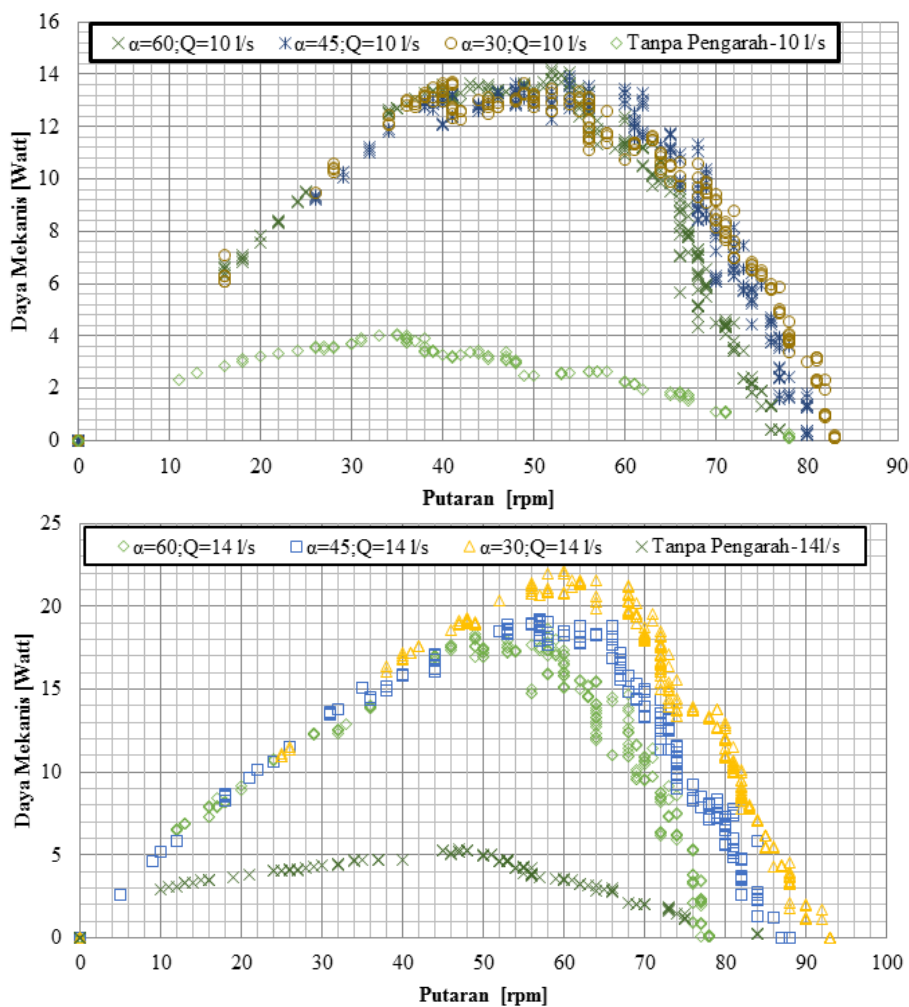
η = Efisiensi

P_{in} = Daya hidrolis (Watt)

P_{out} =Daya mekanis (Watt)

3. HASIL DAN DISKUSI

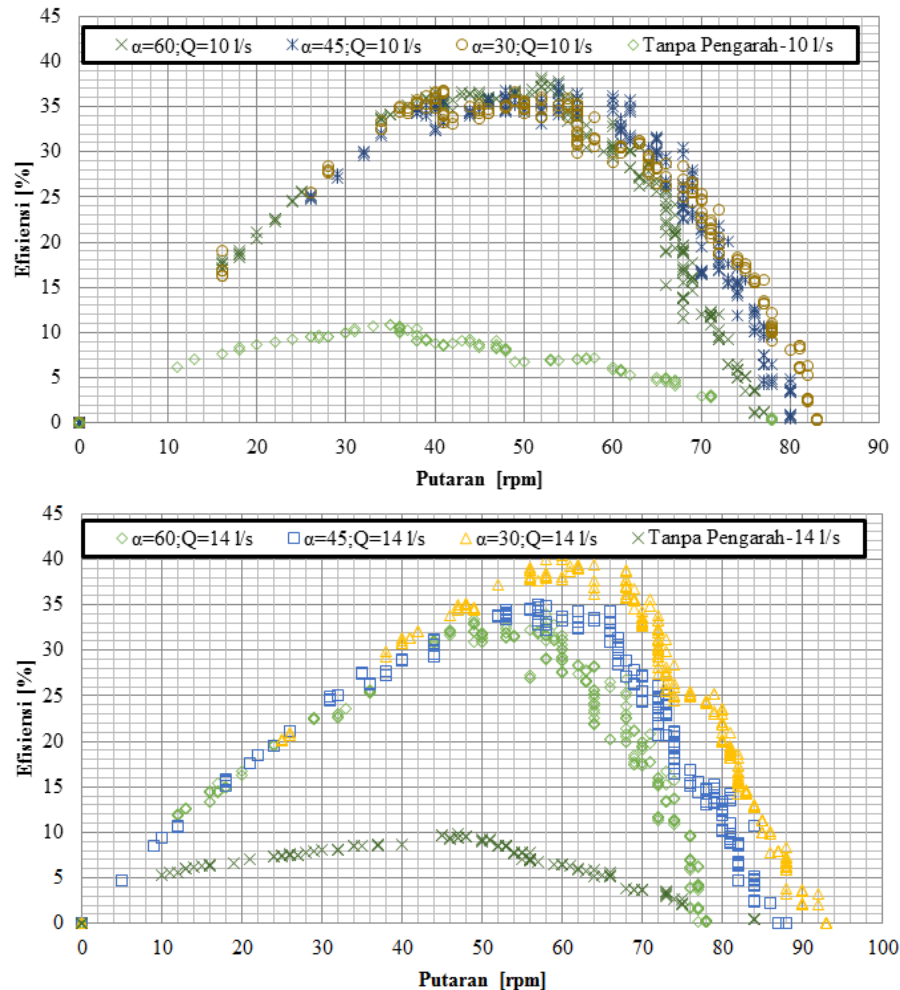
3.1. Pengaruh sudut pengarah aliran terhadap unjuk kerja kincir air



Gambar 2: Grafik hubungan putaran (rpm) terhadap daya mekanis pada debit air 14 l/s dan 10 l/s dengan tanpa menggunakan pengarah aliran dan menggunakan pengarah aliran dengan variasi besar sudut pengarah $\alpha=30^\circ$ $\alpha=45^\circ$ $\alpha=60^\circ$.

Pada gambar 2, 3 dan 4 memperlihatkan hubungan putaran kincir, *tip speed ratio* dan variasi sudut *butterfly guide* terhadap daya mekanis dan efisiensi kincir memperlihatkan bahwa kincir air memiliki kecepatan operasi optimum, yaitu saat menghasilkan daya mekanis dan efisiensi yang optimum. Daya optimum di capai kincir air pada kondisi debit 14 l/s dan 10 l/s pada putaran 50 sampai dengan 65 rpm, setelah itu pada rpm lebih tinggi

daya yang dihasilkan cenderung turun kembali. Berbeda pada kondisi kincir air memakai pengarah aliran $\alpha=45^\circ$ dan $\alpha=60^\circ$ karena perubahan penampang aliran yang tiba-tiba sehingga menyebabkan aliran air menjadi saling bertabrakan. Aliran air yang bertabrakan menyebabkan arah aliran menjadi tidak seragam sehingga membuat *vortex* pada aliran. *Vortex* ini menyebabkan aliran berfluktuasi dan mereduksi energi sehingga kinerja kincir tidak optimal.



Gambar 3: Grafik hubungan putaran (rpm) terhadap efisiensi kincir air pada debit air 14 l/s dan 10 l/s dengan tanpa menggunakan pengarah aliran dan menggunakan pengarah aliran dengan variasi besar sudut pengarah $\alpha=30^\circ$ $\alpha=45^\circ$ $\alpha=60^\circ$

Selain itu semakin ditingkatkan debit aliran maka semakin besar juga aliran air yang masuk ke kincir, semakin besar sudut pengarah maka membuat perubahan arah aliran secara tiba-tiba sehingga air saling bertabrakan menyebabkan kerugian hidraulik. Kerugian hidraulik inilah yang membuat daya optimum yang di hasilkan kincir air pada tiap kondisi berbeda-beda. di tampilkan bahwa daya mekanis optimum yang dihasilkan kincir dengan sudut pengarah aliran $\alpha=30^\circ$ yaitu sebesar 22,13 Watt pada 60 rpm untuk debit 14 l/s dan 13,69 Watt pada 41 rpm untuk debit 10 l/s. Sedangkan daya mekanis optimum pada kondisi kincir memakai besar sudut pengarah $\alpha=45^\circ$ sebesar 19,22 Watt pada 57 rpm, debit 14 l/s dan sebesar 13,93 Watt pada 54 rpm, debit 10 l/s. Daya optimum pada kondisi kincir memakai pengarah aliran dengan sudut $\alpha=60^\circ$ sebesar 18,63 Watt didapat pada 58 rpm, debit 14 l/s dan sebesar 14,80 Watt pada 50 rpm, debit 10 l/s. Daya mekanis tertinggi di capai ketika memakai sudut pengarah aliran $\alpha=30^\circ$, ini disebabkan ketika melewati pengarah aliran dalam kondisi uniform, hal itu dikarena perubahan penampang aliran di buat berubah secara perlahan-lahan.

Untuk mengetahui efisiensi yang di hasilkan kincir di lakukan pengujian dari beban pengereman 0 sampai 5 kg, ketika kincir tidak direm, kincir berputar pada kecepatan kerjanya, yang merupakan kecepatan putaran optimum [10]. Gambar 3 menunjukkan kondisi kincir air memakai pengarah aliran $\alpha=30^\circ$ efisiensi

optimum kincir air pada putaran 40 rpm di debit 10 l/s dan efisiensi optimum kincir air pada debit 14 l/s bergeser pada rpm 60-70 rpm. Pada kondisi kincir air memakai pengarah aliran dengan sudut $\alpha=45^\circ$ efisiensi optimum pada debit 10 l/s pada 38 rpm dan efisiensi optimum pada debit 14 l/s bergeser pada 66 rpm. Dan pada kondisi $\alpha=60^\circ$ terdapat kesamaan karakteristik efisiensi yang di hasilkan yaitu pada rpm rendah efisiensi optimum di capai ketika debit 10 l/s dan debit 14 l/s dicapai pada rpm yang lebih tinggi yaitu 70 rpm. Kincir air yang tidak menggunakan pengarah aliran efisiensi optimum di capai pada 35 rpm pada debit 10 l/s dan ketika debit dinaikan menjadi 14 l/s efisiensi bergeser pada 45 rpm. Secara keseluruhan daya tertinggi di capai ketika kincir air menggunakan pengarah aliran dengan sudut $\alpha=30^\circ$ pada debit 14 l/s, hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pemberian pengarah aliran terlihat signifikan dengan menggunakan debit yang lebih besar.

Gambar 3 menunjukkan efisiensi kincir air dengan memakai pengarah aliran $\alpha=30^\circ$ adalah 40.37% dengan debit 14 l/s pada 60 rpm dan 36.81% dengan debit 10 l/s pada 41 rpm. Pada kondisi ini terlihat pengaruh debit aliran yang ditingkatkan ketika menggunakan pengarah dengan sudut kecil cukup signifikan. Fenomena ini dapat dilihat dengan mengamati pola aliran yang memperlihatkan ketika menggunakan sudut pengarah kecil perubahan pola aliran akibat penyempitan penampang cukup terkendali. Sehingga arah aliran masih sepenuhnya lurus menumbuk sudu kincir. Dengan massa aliran yang besar dan arah aliran yang seragam menumbuk sudu maka energi yang dihasilkan juga maksimal.

Kondisi kincir menggunakan pengarah aliran $\alpha=45^\circ$ adalah 35.07% dengan debit 14 l/s pada 57 rpm dan 37.44% dengan debit 10 l/s pada 54 rpm. Pada kondisi ini selisih efisiensi yang di hasilkan juga menurun, ini di sebabkan perubahan penampang saluran sudah berpengaruh terhadap pola aliran. Pada sisi masuk kincir sudah muncul aliran menyilang akibat perubahan yang tiba-tiba sehingga arah aliran tidak sepenuhnya menumbuk sudu kincir. Selanjutnya pada sudut pengarah aliran $\alpha=60^\circ$ adalah 33.98% dengan debit 14 l/s pada 58 rpm dan 35.82% dengan debit 10 l/s pada 52 rpm. Pada kondisi ini terlihat jelas penggunaan debit yang besar pada pengarah aliran dengan sudut besar menyebabkan penurunan efisiensi yang di hasilkan. Ini di sebabkan efek aliran menyilang yang cukup besar sehingga arah aliran menjadi tidak beraturan ketika menumbuk sudu kincir. Tumbukan air inilah yang menyebabkan kerugian hidraulik sehingga efisiensi yang di hasilkan juga terjadi penurunan.

Sedangkan pada debit 10 l/s menunjukkan ada sedikit kenaikan efisiensi yang di hasilkan oleh kincir pada debit 10 l/s untuk tiap variasi pengarah aliran akan tetapi tidak terlalu signifikan. Hal ini di sebabkan pada kondisi debit yang rendah, permukaan air juga rendah menyebabkan air melewati celah antara ujung sudu dan permukaan saluran. Celah antara ujung sudu dan permukaan saluran sangat kritis terhadap keborcoran [11]. Pada pengarah aliran dengan sudut $\alpha=30^\circ$ contohnya di debit aliran 10 l/s tinggi permukaan air juga rendah sehingga air yang menerpa sudu tidak semuanya masuk ke sudu kincir sehingga mempengaruhi besarnya daya poros, dan akibatnya terjadi penurunan efisiensi pada kincir [12].

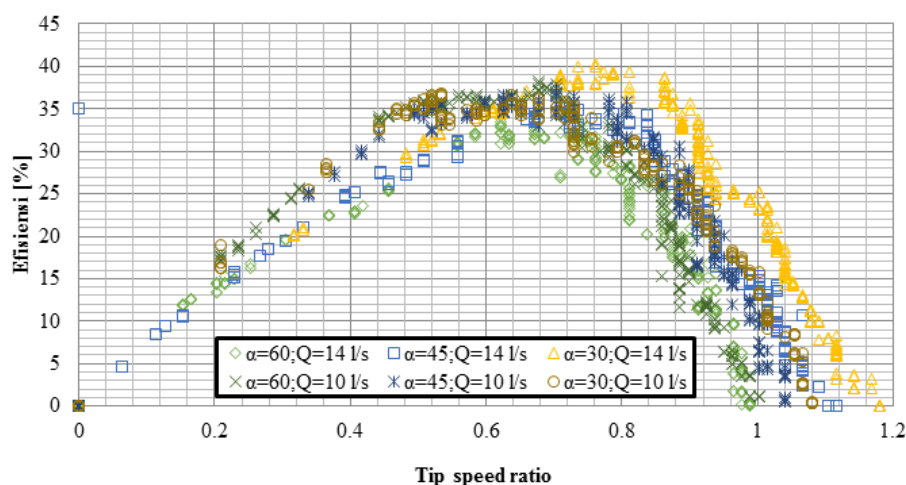
Pada nilai debit yang sama penggunaan pengarah aliran dengan sudut kecil cenderung menghasilkan daya yang lebih besar, Ini menunjukkan selain energi potensial air, perubahan pola aliran akibat perubahan penampang saluran berpengaruh terhadap arah aliran ketika menumbuk sudu. Penurunan dan perbedaan efisiensi maksimum terhadap kecepatan putar ini di duga adanya rugi-rugi hidraulik saat aliran menumbuk sudu kincir. Kondisi aliran yang saling bertumbukan sebelum mengenai sudu menyebabkan perubahan arah aliran yang seharusnya tegak lurus menumbuk sudu menjadi tidak beraturan karena hal tersebut aliran menjadi menyilang sehingga mereduksi energi yang akan menumbuk sudu kincir. Namun, perlu dicatat bahwa daya tetap bergantung pada torsi karena kincir air adalah jenis turbin yang cocok untuk head rendah dan debit besar [13].

Berbeda dengan sudut pengarah yang lebih besar terjadi kenaikan permukaan air, karena debit yang di gunakan rendah maka kecepatan aliran air juga rendah sehingga fenomena air yang menyilang seperti yang terjadi pada debit 14 l/s tetap terjadi tetapi arah aliran masih tetap seragam (lihat gambar 5 dijelaskan pada sub bab berikutnya). Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan daya dan efisiensi pada kincir air ketika memakai pengarah aliran dengan sudut kecil pada debit 14 l/s, ini disebabkan perubahan penampang aliran secara *gradually* sehingga meningkatkan massa dan kecepatan aliran yang menumbuk sudu kincir. Secara teoritis besarnya energi potensial air bergantung pada nilai kecepatan dan masa aliran, tentu saja pada debit air yang sama kecepatan aliran juga sama [14].

Pada pembahasan sebelumnya menunjukkan efisiensi optimum yang dihasilkan oleh kincir air memiliki karakteristik berbeda-beda untuk setiap debit aliran. Seperti pada gambar 4 memperlihatkan kincir air dengan pengarah aliran pada debit 14 l/s menghasilkan efisiensi optimum pada tip speed ratio 0.7 – 0.8 berbeda pada kondisi debit 10 l/s efisiensi optimum terjadi pada nilai tip speed ratio 0.56 – 0.7. Perbedaan efisiensi ini salah satunya di sebabkan kerugian hidraulik akibat terjadinya tabrakan air karena penyempitan saluran secara mendadak. Penyempitan pada saluran terbuka, terdiri atas daerah penyempitan penampang lintang saluran

secara mendadak. Pengaruh penyempitan tergantung pada geometri (bentuk) bagian masuk penyempitan, kecepatan aliran dan keadaan aliran. Aliran yang melalui penyempitan dapat berupa aliran superkritis ($Fr > 1$) atau subkritis ($Fr < 1$).

Pada aliran subkritis, adanya penyempitan saluran akan menyebabkan terjadinya efek pembendungan yang meluas ke arah hulu, sedangkan pada aliran superkritis hanya akan menimbulkan perubahan ketinggian permukaan air didekat penyempitan dan tidak meluas ke arah hulu. Bila kedalaman air di penyempitan lebih besar dibandingkan kedalaman kritis, kedalaman kritis dapat didefinisikan sebagai kedalaman air pada kondisi aliran kritis, maka perluasan genangan air ke arah hulu hanya terjadi pada jarak yang dekat, dan dibagian akhir efek pembendungan itu akan terjadi suatu loncatan hidrolis. Loncatan yang terjadi pada akhir saluran ini membuat arah aliran tidak tepat mengenai sudu sehingga energi potensial air tidak terkonversi sepenuhnya oleh kincir. Dari hasil diatas dapat dilihat terjadinya operasi optimum tertinggi pada kincir ketika memakai sudut pengarah $\alpha = 30^\circ$ pada debit 14 l/s dengan nilai TSR 0.8 ini dikarenakan perubahan aliran yang perlahan dapat meminimalisir loncatan hidrolis sehingga energi kinetik air dapat dikonversi secara maksimum oleh kincir air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.



Gambar 4: Hubungan *tip speed ratio* terhadap efisiensi kincir (%) dengan variasi sudut pengarah aliran ($\alpha = 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$) pada debit 14 l/s dan 10 l/s.

3.2. Analisa hubungan pola aliran dan unjuk kerja kincir air

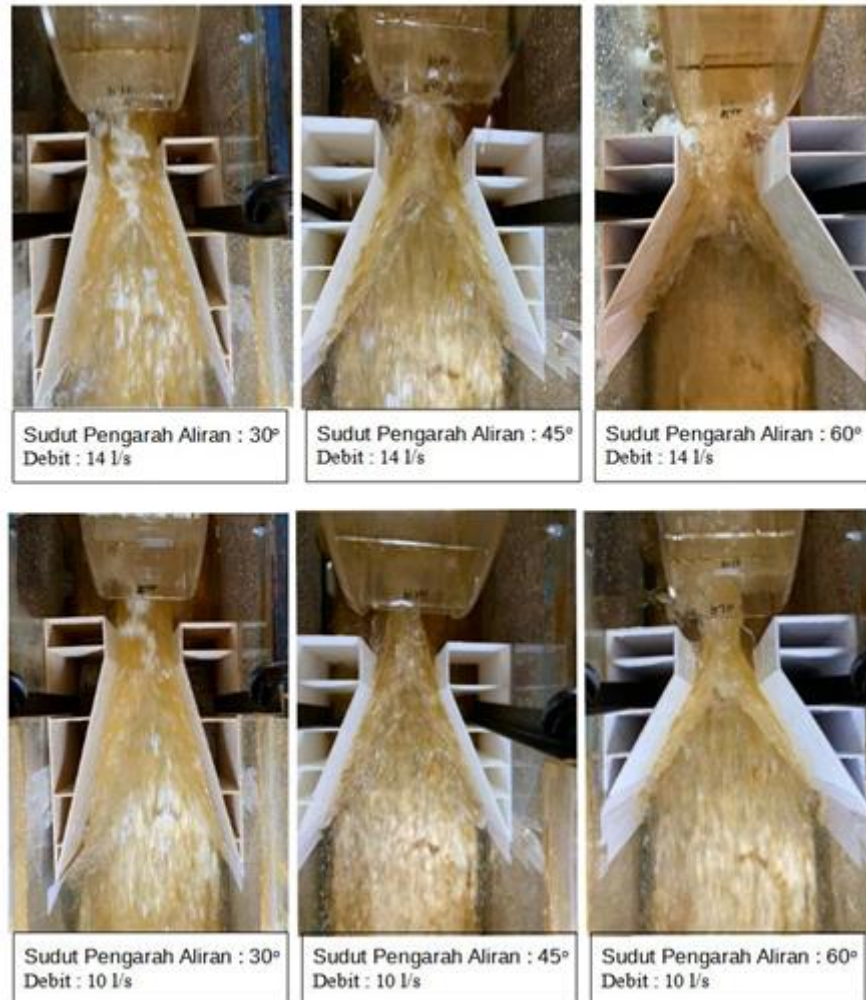
Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2 dan 3 bahwa pengaruh besar sudut pengarah menjadi sangat dominan ketika debit aliran besar yaitu 14 l/s dibandingkan dengan debit aliran kecil 10 l/s. Selanjutnya dilihat keterkaitan perubahan pola aliran yang diakibatkan perubahan bentuk saluran, akan berpengaruh ketika debit meningkat. Pada gambar 5 menunjukkan bahwa pola aliran dengan debit 14 l/s pada sudut pengarah $\alpha = 30^\circ$ memperlihatkan aliran yang relatif seragam dan arah aliran lurus terhadap sudu kincir, sehingga debit yang menumbuk sudu maksimal. Pada sudut pengarah $\alpha = 45^\circ$ memperlihatkan sudah muncul pola aliran yang menyilang, akan tetapi arah aliran masih lurus terhadap sudu kincir. Sedangkan pada sudut pengarah $\alpha = 60^\circ$ pengaruh aliran silang sangat signifikan, ini menyebabkan sebagian aliran keluar dan tidak menumbuk sudu.

Karena aliran menyilang (lihat gambar 5) menyebabkan arah aliran pada bagian hilir menjadi tidak seragam sehingga aliran menjadi subkritis dan permukaan air menjadi naik [15]. Kenaikan permukaan air yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya tekanan balik terhadap sudu kincir yang membuat kecepatan putar kincir menurun. Pola aliran seragam dan minim turbulensi yang ditunjukkan pada pengarah aliran dengan sudut $\alpha = 30^\circ$ karena saat air dengan kecepatan tinggi memasuki penampang aliran yang berubah maka terjadi hambatan karena perubahan penampang aliran. Perubahan penampang yang terlalu ekstrim pada kecepatan aliran yang tinggi membuat hambatan yang tinggi pula.

Sementara pola aliran pada debit 10 l/s dengan sudut pengarah 30° pola aliran yang terlihat masih tetap seragam dan arah aliran masih lurus terhadap sudu. Pada sudut pengarah 45° munculnya aliran menyilang tidak terlalu signifikan, ini dipengaruhi juga oleh penggunaan debit yang rendah. Sedangkan pada sudut pengarah 60° aliran menyilang sudah muncul akan tetapi pengaruhnya tidak sebesar ketika menggunakan debit 14 l/s. Secara keseluruhan hubungan kecepatan putar dengan sudut pengarah aliran terhadap daya dan efisiensi menunjukkan terjadinya kenaikan ketika sudut pengarah mengecil. Fenomena ini dapat di pahami dengan

melihat pola aliran yang terjadi pada setiap kondisi pengarah aliran (lihat gambar 5).

Pada dasarnya bentuk saluran terbuka sangat berpengaruh terhadap pola aliran dan kecepatan aliran air. Namun, bila kecepatan aliran dan kecepatan putaran melebihi nilai tertentu, maka terjadi kerugian volumetrik, mengakibatkan penurunan efisiensi dan kemungkinan kerusakan pada kincir [16]. Penurunan daya dan efisiensi yang terjadi seiring membesarnya sudut pengarah disebabkan terjadinya turbulensi pada aliran karena hambatan yang terjadi akibat perubahan geometri secara tiba-tiba sehingga arah aliran menjadi silang membuat air bercampur dengan udara. Air yang bercampur dengan udara dapat membuat aliran lebih kompleks pada fase memasuki kincir [5].



Gambar 5: Pola aliran air pada tiap variasi sudut pengarah aliran pada debit 14 l/s dan 10 l/s

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisa pengolahan data dan pembahasan, maka hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sudut pengarah aliran yang lebih kecil dapat membuat perubahan aliran secara *gradually* sehingga menghasilkan pola aliran yang lebih seragam dan menghasilkan unjuk kerja yang lebih tinggi terutama ketika debit aliran besar. Sedangkan pada debit yang rendah dampak *entry point* juga lebih kecil, walau-pun terjadi *crossing flow* arah aliran masih searah berbeda dengan debit yang lebih tinggi. Efisiensi tertinggi dicapai dengan menggunakan pengarah aliran $\alpha=30^\circ$ pada debit 14 l/s dengan efisiensi sebesar 40,37% sedangkan efisiensi terendah dengan menggunakan pengarah aliran dengan sudut $\alpha=60^\circ$ dengan efisiensi sebesar 33,98% pada debit 14 l/s. Penggunaan pengarah aliran dengan sudut yang besar dapat menyebabkan aliran menjadi silang. Hal itu menyebabkan kerugian hidraulik pada aliran. Semakin kecil sudut pengarah maka semakin sedikit loncatan hidraulik yang terjadi.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar – besarnya kepada Universitas Brawijaya Malang dan Politeknik Negeri Pontianak khususnya jurusan Teknik Mesin yang telah memfasilitasi perlengkapan selama penelitian berlangsung.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. E. DIREKTORAT JENDERAL ENERGI BARU, TERBARUKAN, “Laporan Kinerja Tahun 2017,” *Kementerian. Energi dan Sumber daya Mineral.*, no. 3, pp. 1–50, 2018.
- [2] L. SULE and P. T. D. ROMPAS, “Performance of Savonius Blade Waterwheel with Variation of Blade Number,” In: *IOP Conference Series:Material Science Engineering.*, vol. 306, no. 1, 2018
- [3] WARJITO, D. ADANTA, BUDIARSO, and A. P. PRAKOSO, “The effect of bucketnumber on breastshot waterwheel performance,” In: *IOP Conference Series: Earth Environment Science.*, vol. 105, no. 1, 2018
- [4] M. HIDAYAT and R. WULANDARI, “Unjuk Kerja Turbin Air Kaki Angsa Next-G dengan Variasi Lebar Sudu dan Jumlah Kaki Sudu Menggunakan Pendekatan Komputasional,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 99–102, 2018
- [5] M. ZHAO, Y. ZHENG, C. YANG, Y. ZHANG, and Q. TANG, “Performance investigation of the immersed depth effects on a water wheel using experimental and numerical analyses,” *Journal Water (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, 2020
- [6] HELMIZAR and G. MULLER, “The effect of using upper shroud on the performance of a breastshot water wheel,” In: *IOP Conference Series: Journal Physics.*, vol. 1175, no. 1, 2019
- [7] MATIAS, A. SUNARSO, and B. P. LAPANPORO, “Studi Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Arus Sungai di Sungai Buduk Dusun Nibung Desa Sahan Kecamatan Seluas Kabupaten Bengkayang,” *Positron*, vol. 6, no. 1, pp. 29–34, 2016
- [8] BUDIARSO, HELMIZAR, WARJITO, A. NURAMAL, W. RAMADHANU, and D. ADANTA, “Performance of breastshot waterwheel in run of river conditions,” In: *AIP Conference Proceedings.*, vol. 2227, no. May, 2020
- [9] E. QUARANTA and R. REVELLI, “Performance characteristics, power losses and mechanical power estimation for a breastshot water wheel,” *Energy*, vol. 87, pp. 315–325, 2015
- [10] C. VIDALI, S. FONTAN, E. QUARANTA, P. CAVAGNERO, and R. REVELLI, “Experimental and dimensional analysis of a breastshot water wheel,” *J. Hydraul. Res.*, vol. 54, no. 4, pp. 473–479, 2016
- [11] E. QUARANTA and G. MÜLLER, “Sagebien and Zuppinger water wheels for very low head hydropower applications,” *J. Hydraul. Res.*, vol. 56, no. 4, pp. 526–536, 2018
- [12] A. A. A. SURYAWAN and I. N. SUWEDEN, “Karakterisasi Kincir Air Sudu Melengkung pada Variasi Sudut Air Masuk (θ_1) dan Sudut Kelengkungan Sudu (θ),” *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 11, no. 1, p. 30, 2018
- [13] D. ADANTA, BUDIARSO, and WARJITO, “The effect of channel slope angle on breastshot waterwheel turbine performance by numerical method,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 606–610, 2020
- [14] FITRIANSYAH, E., WAHYUDI,S., WINARTO. (2020). Pengaruh Kedalaman Sudu Mangkok Terhadap Unjuk Kerja Turbin Kinentik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5. 11, N3, pp.323-329.
- [15] Y. NISHI, T. INAGAKI, Y. LI, and K. HATANO, “Study on an Undershot Cross-Flow Water Turbine with Straight Blades,” *Int. J. Rotating Mach.*, vol. 2015, 2015
- [16] SYAFRIYUDIN, B. FAJAR, S. H. WINOTO, and M. FACTA, “Early Analysis of Jumping Water Effect on Breastshot Waterwheel for Microhydro Power Plant,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 953, no. 1, pp. 0–7, 2018