



PERBANDINGAN JUMLAH DAN BENTUK SUDU KINCIR AIR *UNDERSHOT* PADA PEMBANGKIT LISTRIK PIKOHIDRO

Rizki Subagja¹, Cokorda Prapti Mahandari^{2*}

^{1,2}Mechanical Engineering, Gunadarma University, Indonesia

Korespondensi Email: coki@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Pikrohidro (PLTPH) merupakan teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan aliran sungai menjadi sumber energi listrik melalui kincir. Kincir air undershot beroperasi saat air yang mengalir, menabrak sudu yang terletak di bagian bawah kincir. Penelitian ini membahas tentang nilai kecepatan air pada kali Cakung dan perbandingan jumlah sudu 5,6,7,8,9 serta bentuk sudu terhadap kecepatan putar kincir. Pengukuran nilai laju kecepatan aliran air menggunakan metode pelampung, kemudian nilai laju kecepatan rata-rata tersebut dijadikan sebagai input velocity inlet pada simulasi. Kincir air undershot dengan sudu berbentuk datar dan lengkung berukuran 118 x 236 mm disimulasikan menggunakan Software Ansys Fluent. Hasil pengukuran kelajuan rata-rata air sebesar 0,90 m/s. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap laju kecepatan sudut kincir. Pada sudu datar kecepatan sudut meningkat untuk jumlah sudu 9 tetapi menurun pada jumlah sudu yang lainnya, sedangkan pada sudu lengkung kecepatan sudut meningkat untuk jumlah sudu 9 tetapi menurun pada jumlah sudu lainnya. Nilai kecepatan sudut maksimum untuk jumlah sudu tertentu, yaitu 9 buah untuk datar adalah 74,96 rpm dan 9 buah untuk lengkung adalah 111,53 rpm. Simulasi kincir air undershot untuk variasi bentuk geometri sudu, menunjukkan bahwa bentuk sudu dapat memengaruhi besar kecepatan sudut. Sudu dengan bentuk lengkung menghasilkan kecepatan sudut yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk datar, yaitu untuk sudu lengkung berada pada kisaran 70,96 rpm dan untuk sudu datar hanya berada pada kisaran 19,17 rpm.

Kata Kunci: Ansys Fluent, CFD, Kelajuan air, Kecepatan putar, Kincir air

Abstract: Picohydro Power Plant is an environmentally friendly power generation technology because it utilizes river flow as a source of electrical energy through windmills. Undershot waterwheels operate when flowing water hits the blades located at the bottom of the wheel. This research discusses the value of water velocity of Cakung River and the comparison of the number of blades 5,6,7,8,9, and the shape of the blades to the rotational speed of the waterwheel. The velocity of the water is measured using the floating method, then the average velocity value is used as input for the inlet velocity in the simulation. An undershot waterwheel of flat and curved blades 118 x 236 mm is simulated using Ansys Fluent Software. The result of measuring the average velocity of water is 0.90 m/s. The simulation results show that the number of blades influences the angular speed of the wheel. On a flat blade, the angular velocity increases for the number of blades 9 but decreases for the number of other blades, whereas on a curved blade, the angular velocity increases for the number of blades 9 but decreases for others number of blades. The maximum angular speed value for a certain number of blades, namely 9 for flat is 74.96 rpm and for curved is 111.53 rpm. Simulation of an undershot water wheel for variations in blade geometry shows that the blade shape can influence the angular velocity. Blades with a curved shape produce a greater angular speed than those with a flat shape, namely for curved blades it is in the range of 70.96 rpm and for flat blades it is only around 19.17 rpm.

Keywords: Ansys Fluent, CFD, Water speed, Rotary speed, Water wheel

INTRODUCTION

Potensi sumber energi baru dan terbarukan di Indonesia khususnya energi air sangat besar namun hanya sekitar 4.2 GW dari potensi pasokan tenaga air Indonesia yang berjumlah sekitar 75.67 GW yang benar-benar digunakan. Pembangkit listrik tenaga pikrohidro (PLTPH) merupakan pilihan yang baik untuk memanfaatkan potensi tersebut, terutama untuk menghasilkan energi dalam skala kecil, sekitar 5 kW [1]

Pembangkit Listrik Tenaga Pikrohidro merupakan teknologi pembangkit listrik yang ramah lingkungan karena memanfaatkan aliran sungai menjadi sumber energi listrik melalui kincir. PLTPH memanfaatkan aliran air sungai sebagai

sumber energi untuk menggerakkan kincir selanjutnya menggerakkan generator. Pendekatan ini biasanya digunakan di lokasi terpencil dimana jaringan distribusi listrik PLN belum ada. Dengan memanfaatkan aliran air sungai, energi potensial air diubah menjadi daya listrik skala kecil melalui proses perubahan mekanik pada kincir dan generator. Banyak desa-desa di Indonesia yang mempunyai aliran sungai maupun saluran irigasi yang belum dimanfaatkan sebagai sumber energi baru dan terbarukan khusus pembangkit listrik skala pikohidro [2].

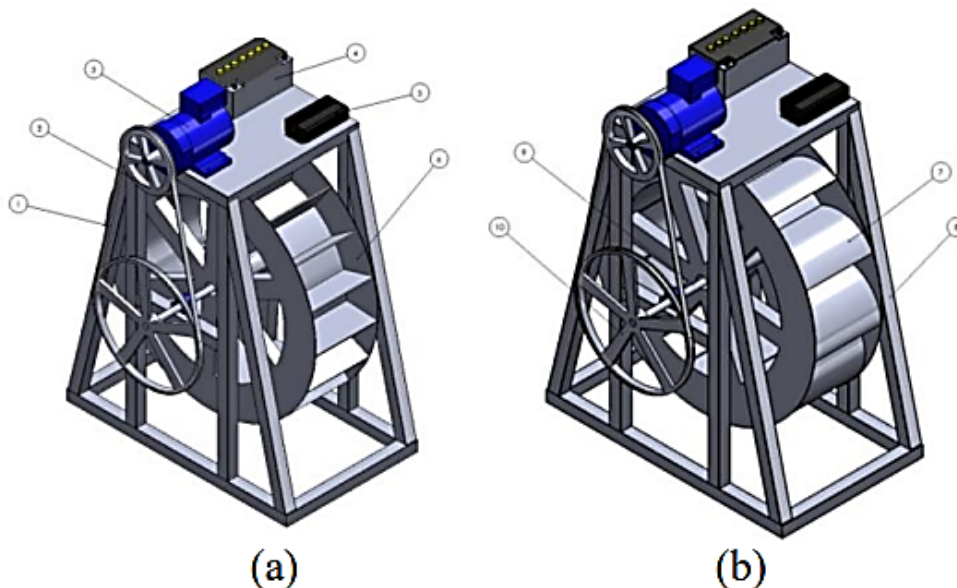
Salah satu aliran air yang berpotensi untuk menghasilkan tenaga listrik melalui penggunaan kincir air yaitu aliran Kali Cakung yang berlokasi di Bintara, Kecamatan Bekasi Barat Kota Bekasi, Jawa Barat. Kali Cakung sendiri memiliki sistem aliran terbuka berbentuk datar dengan tinggi air yang rendah. Kondisi air ini sangat cocok dengan tipe kincir air undershot. Kincir air undershot beroperasi saat air yang mengalir, menabrak sudu yang terletak di bagian bawah kincir. Selain desainnya yang simpel dan hemat biaya, jenis ini cocok untuk dipasang di perairan dangkal di daerah yang datar dan mudah dipindahkan.

Pada penelitian tentang pengaruh jumlah dan bentuk sudu terhadap kecepatan sudut kincir diperoleh bahwa pada kincir dengan sudu berbentuk datar, kincir yang memiliki 6 sampai 10 sudu menghasilkan kecepatan sudut yang cenderung meningkat seiring peningkatan jumlah sudu, tetapi berlaku sebaliknya untuk kincir yang memiliki 10 sampai 15 sudu. Adapun pada kincir dengan sudu berbentuk lengkung, kecenderungan peningkatan kecepatan sudut seiring meningkatnya jumlah sudu terjadi untuk kincir yang memiliki 6 sampai 8 sudu, dan berlaku sebaliknya untuk kincir yang memiliki 8 sampai 15 sudu [3].

Penelitian ini akan mengukur kecepatan aliran Kali Cakung dan menggunakan data kecepatan aliran sebagai data input pada simulasi seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [3] namun dengan memodifikasi ukuran dan jumlah sudu pada desain kincir undershot. Software yang digunakan juga sama yakni ANSYS Fluent dan data rata-rata kecepatan aliran air Kali Cakung dijadikan sebagai velocity inlet pada simulasi tersebut.

RESEARCH METHODS

Tahap awal dalam penelitian ini adalah pengukuran kelajuan air pada aliran Kali Cakung. Alasan aliran ini dipilih sebagai contoh dalam penelitian ini adalah karena aliran ini berdekatan dengan pemukiman penduduk sekitar dan memiliki sistem aliran terbuka yang berbentuk horizontal dengan kedalaman air yang dangkal yang sangat cocok dengan karakteristik jenis kincir air undershot. Pengukuran kelajuan air dilakukan secara langsung pada saluran terbuka dengan cara menghanyutkan benda apung dan mengukur waktu tempuh benda tersebut dalam melewati titik-titik yang telah ditentukan. Pengukuran dilakukan secara berulang sebanyak lima kali dengan menggunakan botol kemasan air minum plastik 600 ml sebagai pelampung yang dihanyutkan. Kelajuan yang diperoleh dijadikan sebagai velocity inlet pada simulasi tersebut.



Gambar 1. Desain assembly kincir air undeshot untuk sudu datar (a), dan untuk sudu lengkung (b)

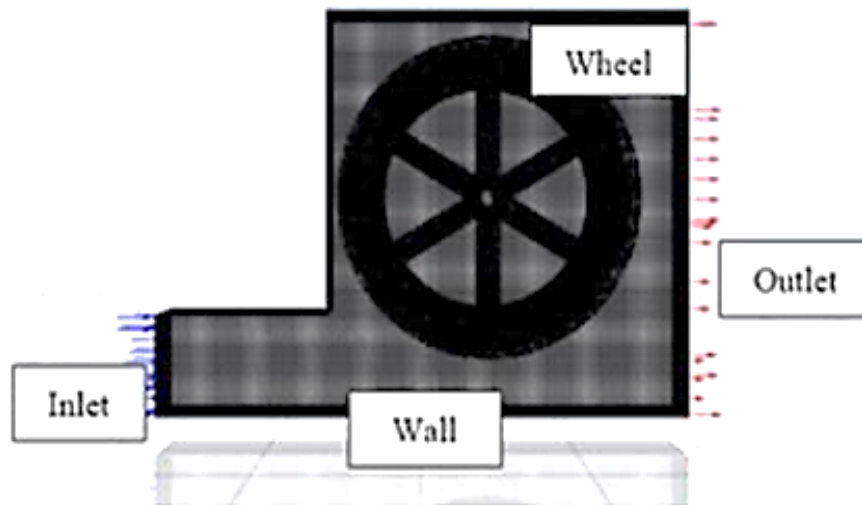
Keterangan nomor pada gambar 1:

- | | |
|-----------------|-----------------------------|
| 1. V-belt | 6. Kincir Air Sudu Datar |
| 2. Pulley Kecil | 7. Kincir Air Sudu Lengkung |
| 3. Generator | 8. Rangka |
| 4. Battery | 9. Poros |
| 5. Inverter | 10. Pulley Besar |

Penelitian ini memvariasikan jumlah sudu yang digunakan dan bentuk sudu. Terdapat lima variasi jumlah sudu yang digunakan, yaitu 5, 6, 7, 8, dan 9 pada setiap bentuk sudu. Sementara itu, bentuk sudu yang digunakan hanya ada dua variasi, yaitu sudu datar dan melengkung. Gambar desain kincir air undershot seperti pada gambar 1 dibuat menggunakan software Solidwork 2022 melalui tiga fitur yakni drawing, part dan assembly. Sebelum assembly atau perakitan, dibuat perkomponen terlebih dahulu baru dirakit menjadi rangkaian seperti pada Gambar 1.

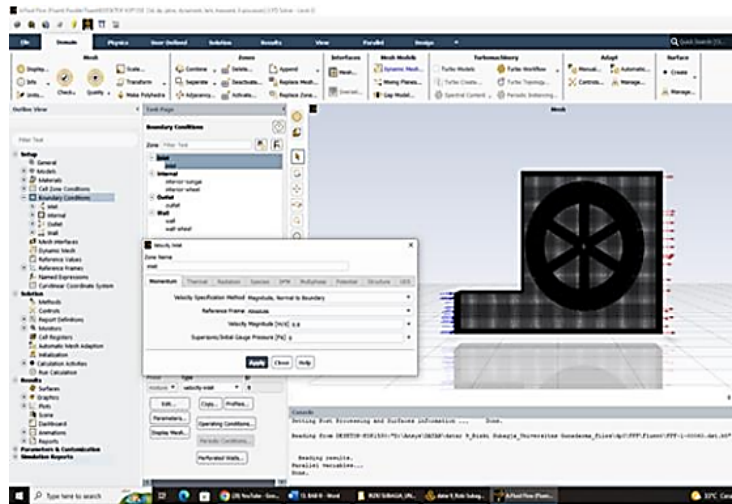
Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Ansys. Ada beberapa parameter input untuk dimasukkan pada simulasi ini yaitu; kecepatan aliran air pada kali Cakung, dan kedalaman kali Cakung. Desain kincir air yang telah dibuat pada software solidworks disimpan dengan format IGS agar dapat diimport pada software Ansys. Simulasi yang akan digunakan pada software Ansys adalah Ansys Fluent. Metode CFD (Computation Fluid Dynamic) digunakan untuk mengetahui sifat aliran fluida yang melalui suatu objek. Dalam metode ini, terdapat tiga tahap umum yaitu; pre-processing, processing dan post-processing.

Pada tahap pre-processing terdiri dari proses geometri, boundary condition dan Meshing. Geometri yang digunakan dalam penulisan ini adalah gambar kincir air undershot dengan sudu datar dan juga lengkung. Boundary Condition merupakan batas kondisi atau batasan-batasan yang digunakan pada suatu simulasi. Beberapa Boundary Condition yang digunakan pada simulasi ini diantaranya; Inlet dilokasikan sebagai aliran masuk air ke arah kincir air, Outlet sebagai aliran keluar dari arah kincir air, wall sebagai dasar sungai, dan wheel dilokasikan sebagai tempat kincir yang berputar. Selanjutnya dilakukan proses meshing yang digunakan untuk membagi geometri menjadi volume kontrol yang kecil-kecil dengan ukuran yang dapat diatur seperti pada Gambar 2. Mesh yang digunakan dalam simulasi ini terdiri dari dua domain, yaitu domain utama di mana air mengalir secara translasi yaitu sungai, dan domain kedua di mana air mengenai kincir dan dapat berputar [2], [3].



Gambar 2. Proses meshing

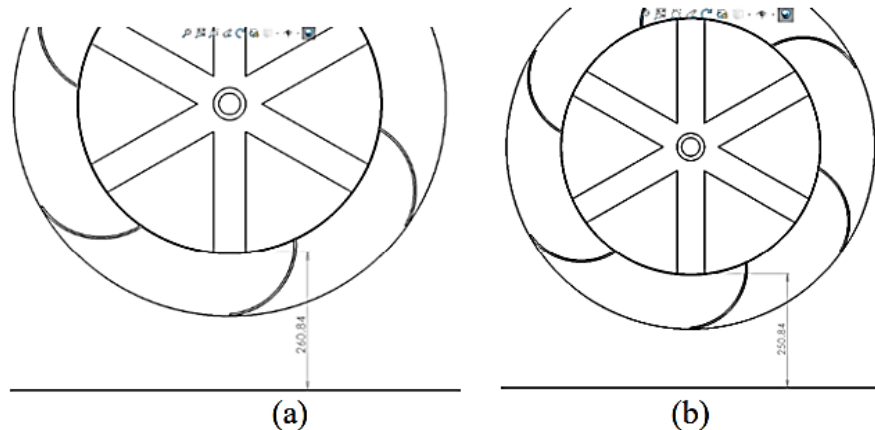
Tahapan Processing merupakan tahap kedua pada simulasi CFD. Pada proses ini ada banyak hal yang akan dilakukan berkaitan dengan penentuan kondisi batas. Dalam tahapan ini, hampir semua parameter diproses yaitu general, models, materials, cell zone conditions, boundary conditions, dynamic mesh, dan run calculation. Setelah memilih sub menu run calculation, proses perhitungan numerik akan otomatis dilakukan oleh sistem komputer. Gambar 3 menunjukkan tampilan sub-menu setup yang berfungsi untuk men-substitusikan nilai atau kondisi batas parameter-parameter tersebut.



Gambar 3. Toolbar setup

Tahap post-processing adalah menampilkan hasil simulasi dan memvisualisasikan hasil simulasi. Data kecepatan air dari pengujian digunakan sebagai data input untuk simulasi penelitian ini dan diambil 5 variasi jumlah sudu (5, 6, 7, 8, dan 9) dan 2 variasi bentuk sudu yaitu datar dan juga lengkung. Data yang diambil dari hasil simulasi berupa kecepatan putar kincir air, gaya drag, dan torsi. Untuk data gaya drag, torsi dan kecepatan sudut dapat diekspor pada sub-menu solution.

Untuk menentukan ada atau tidaknya perbedaan dari setiap hasil pengukuran, disajikan beberapa tabel antara lain tabel perhitungan kecepatan aliran air yang menggambarkan kondisi aliran untuk setiap percobaan. Tabel gaya drag, torsi dan kecepatan pada berbagai jumlah dan bentuk sudu serta grafik kecepatan sudut akibat variasi jumlah dan bentuk sudu. Analisis dua variasi jarak celah dasar sungai seperti pada Gambar 4 yakni 260 mm dan 250 mm terhadap kecepatan sudut kincir juga ditampilkan dalam bentuk grafik.



Gambar 4. Celah dasar sungai dengan jarak 260 mm (a), dan Celah dasar sungai dengan jarak 250 mm (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kelajuan Air Pada Aliran Kali Cakung

Pengukuran kecepatan air dilakukan untuk mengetahui berapa cepatnya aliran air di Kali Cakung. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode apung dengan cara mengapungkan botol plastik dari titik awal ke titik akhir yang telah ditentukan dan mencatat durasinya. Kali Cakung memiliki lebar 3.21 m dengan kedalaman 24.7 cm. Hasil pengukuran dan perhitungan kelajuan air untuk setiap pengukuran ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data hasil pengamatan kecepatan air

| Percobaan | Jarak A-B | Waktu | Kelajuan air |
|-----------|-----------|------------|--------------|
| Ke | (m) | tempuh (s) | (m/s) |
| 1 | 10 | 11.19 | 0.89 |
| 2 | 10 | 10.79 | 0.92 |
| 3 | 10 | 10.73 | 0.93 |
| 4 | 10 | 10.98 | 0.91 |
| 5 | 10 | 11.35 | 0.88 |
| Rata-rata | | | 0.90 |

Untuk mengetahui aliran kali Cakung termasuk ke dalam aliran laminar atau turbulen dihitung bilangan Reynold dengan menentukan terlebih dahulu diameter hidrolis aliran seperti pada Persamaan 1. Bilangan Reynold dihitung sesuai persamaan 2 dan data-data sebagai berikut [4] :

$$Dh = A/P \quad (1)$$

$$Re = \frac{\rho \times V \times Dh}{\mu} \quad (2)$$

Data-data untuk persamaan 1 dan 2 adalah sebagai berikut:

$$\rho = 999 \text{ kg/m}^3 ; V = 0.9 \text{ m/s} ; L = 3.21 \text{ m} ;$$

$$h = 0.247 \text{ m} ; \mu = 1 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$$

$$A = L \times h = 3.21 \times 0.247 = 0.79 \text{ m}^2$$

$$P = L + (2 \times h) = 3.21 + (2 \times 0.247) = 3.70 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh

$$Dh = A/P = 0.79 / 3.70 = 0.2 \text{ m}$$

$$Re = \frac{\rho \times V \times Dh}{\mu} = \frac{999 \times 0.9 \times 0.2}{1 \times 10^{-3}} = 163473$$

Aliran air pada Kali Cakung termasuk aliran turbulen, karena bilangan Reynolds lebih besar 4000 dan memang untuk aliran terbuka cenderung turbulen

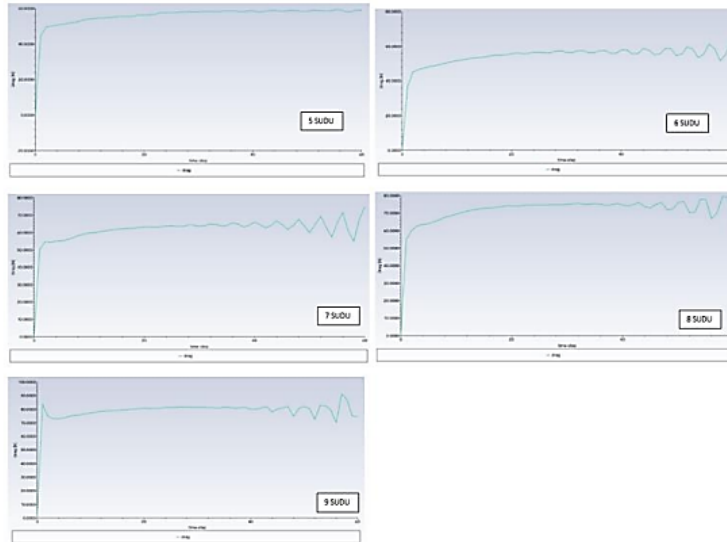
3.2 Gaya Drag pada Celah Dasar Sungai 260 mm

Hasil simulasi gaya drag untuk celah dasar sungai 260 mm ditampilkan pada Gambar 5 untuk sudu datar dan Gambar 6 untuk sudu melengkung. Rata-rata gaya drag ditampilkan pada Tabel 2. Nilai rata – rata gaya drag pada sudu datar didapatkan hasil terbesar pada jumlah sudu 9 dengan nilai 79.54 N dan terkecil pada jumlah sudu 6 dengan nilai 54.83 N. Untuk sudu lengkung didapatkan hasil rata-rata gaya drag terbesar pada jumlah sudu 8 dengan nilai 44.22 N dan terkecil pada sudu 9 dengan nilai 30.58 N. Nilai gaya drag yang kecil dapat menyebabkan gaya dorong yang menumbuk sudu tidak kehilangan energi yang cukup besar untuk tetap menggerakkan kincir. Kincir dengan nilai gaya drag yang lebih kecil akan berputar lebih cepat dibandingkan kincir dengan nilai gaya drag yang lebih besar. Hasil ini selaras dengan konsep persamaan energi dan juga hasil penelitian pada turbin air lainnya [5], [6], [7].

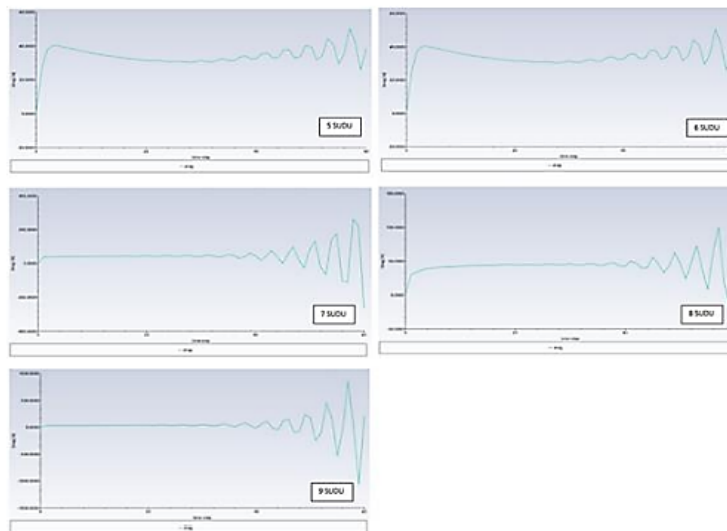
Tabel 2 Nilai gaya drag

| No | Jumlah sudu | Nilai rata-rata gaya drag (N) | |
|----|-------------|-------------------------------|---------------|
| | | Sudu datar | Sudu lengkung |
| 1 | 5 | 56.66 | 32.00 |
| 2 | 6 | 54.83 | 34.37 |
| 3 | 7 | 62.52 | 42.15 |
| 4 | 8 | 72.38 | 44.22 |

| No | Jumlah sudu | Nilai rata-rata gaya drag (N) | |
|----|-------------|-------------------------------|---------------|
| | | Sudu datar | Sudu lengkung |
| 5 | 9 | 79.54 | 30.58 |



Gambar 5. Grafik gaya drag pada sudu datar



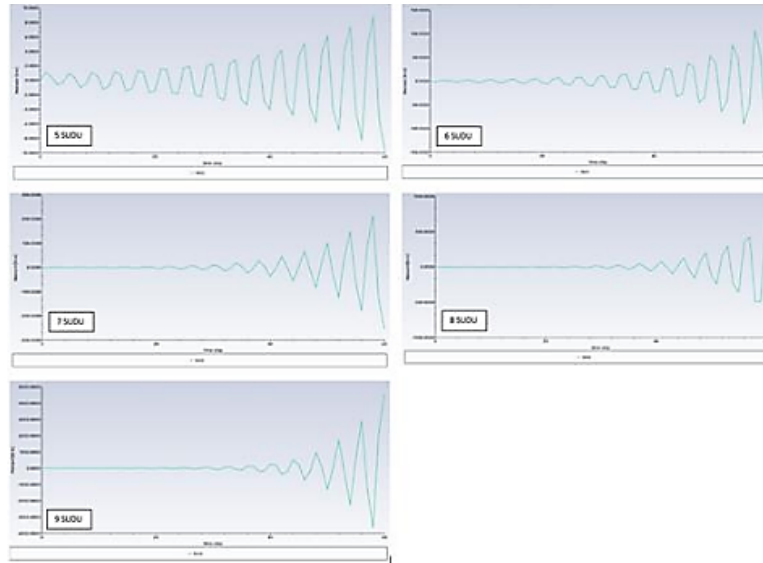
Gambar 6. Grafik gaya drag pada sudu lengkung.

3.3 Torsi Kincir pada Celah Dasar Sungai 260 mm

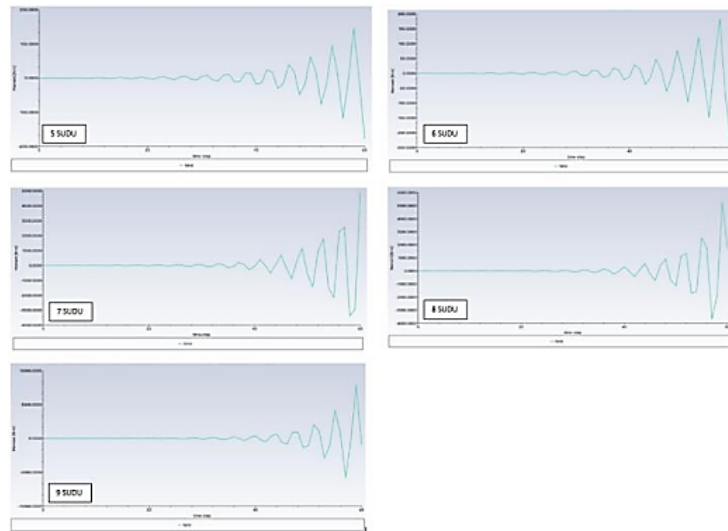
Hasil simulasi yang menampilkan torsi pada variasi jumlah sudu dengan bentuk sudu datar ditampilkan pada Gambar 7 dan bentuk sudu melengkung pada Gambar 8. Nilai rata-rata torsi untuk variasi jumlah sudu dan bentuk sudu ditampilkan pada Tabel 3. Pada bentuk sudu datar didapatkan torsi terbesar pada jumlah sudu 9 dengan nilai 65.34 Nm dan torsi terkecil pada jumlah sudu 5 dengan nilai 0.18 Nm. Untuk sudu lengkung didapatkan rata-rata torsi terbesar pada jumlah sudu 8 dengan nilai 6.,76 Nm dan rata-rata torsi terkecil pada jumlah sudu 6 dengan nilai 0.88 Nm. Besarnya nilai torsi yang beroperasi pada sebuah benda menyebabkan benda tersebut berputar melingkar (berotasi) pada suatu poros. Kincir dengan nilai torsinya lebih kecil akan bergerak lebih lambat dibandingkan kincir dengan nilai torsi yang lebih besar [4], [8].

Tabel 3 Nilai torsi

| No | Jumlah sudu | Nilai rata-rata torsi (N) | |
|----|-------------|---------------------------|---------------|
| | | Sudu datar | Sudu lengkung |
| 1 | 5 | 0.18 | 1.28 |
| 2 | 6 | 0.79 | 0.88 |
| 3 | 7 | 3.55 | 22.83 |
| 4 | 8 | 2.42 | 64.76 |
| 5 | 9 | 65.34 | 61.98 |



Gambar 7. Grafik torsi pada sudu datar



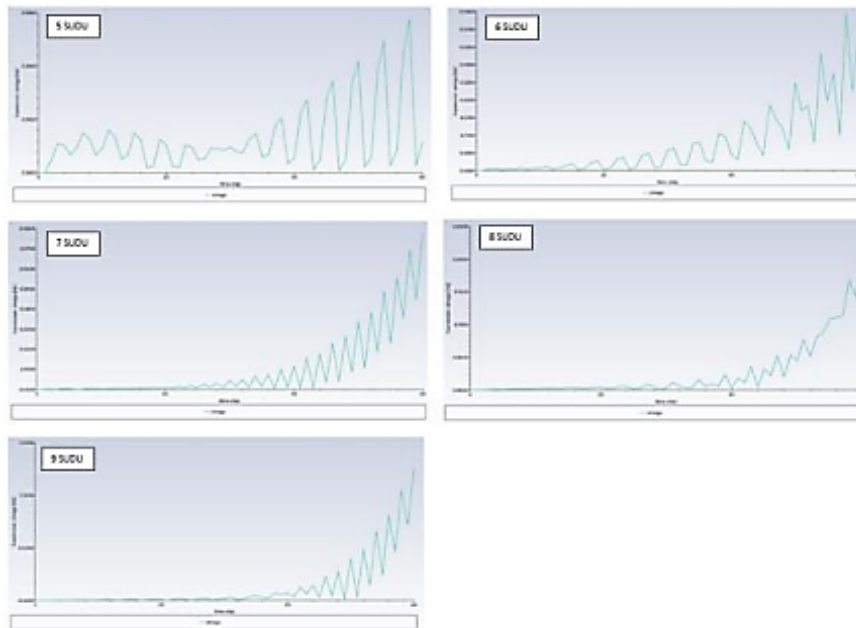
Gambar 8. Grafik torsi pada sudu lengkung

3.4 Nilai Kecepatan Sudut Dengan Celah Dasar Sungai 260 mm

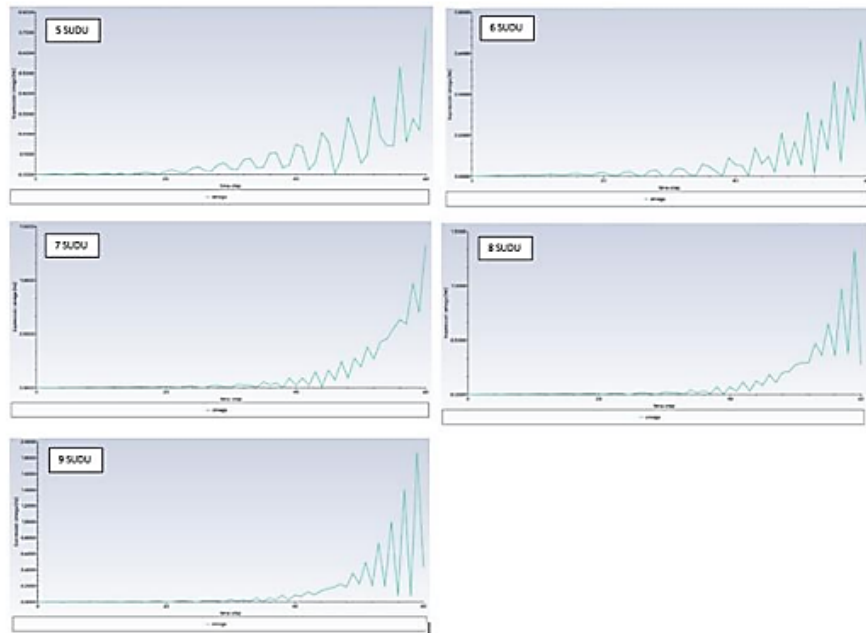
Gambar 9 menampilkan grafik hasil simulasi kecepatan sudut pada sudu datar dan Gambar 10 untuk sudu lengkung. Keduanya digabung dalam grafik Gambar 11 serta Tabel 4. Kecepatan sudut pada sudu datar didapatkan hasil tertinggi pada sudu 9 dengan kecepatan 74.96 rpm dan paling terkecil pada sudu 5 dengan kecepatan 0.57 rpm. Untuk sudu lengkung didapatkan hasil tertinggi pada sudu 9 dengan kecepatan 111.53 rpm dan paling terkecil pada sudu 6 dengan kecepatan 40.10 rpm. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan gaya tangensial pada sudu [4], [5], [8]. Kedua bentuk sudu mencapai kecepatan maksimum pada jumlah sudu 9. Jika mengacu pada kurva kinerja turbin air [9], jumlah sudu memungkinkan untuk dapat ditingkatkan sehingga mencapai putaran maksimumnya. Hal ini terlihat dari kecenderungan bahwa kecepatan terus meningkat dengan bertambahnya jumlah sudu baik untuk bentuk sudu yang datar maupun bentuk sudu melengkung. Namun berdasarkan hasil simulasi drag pada Tabel 2, hal ini hanya dimungkinkan pada sudu datar saja. Sedangkan pada sudu melengkung telah tercapai drag maksimumnya pada jumlah sudu 8.

Tabel 4. Nilai kecepatan sudut celah dasar sungai 260 mm

| No | Jumlah sudu | Kecepatan sudut (rad/s) | | Kecepatan sudut (rpm) | |
|----|-------------|-------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| | | Sudu datar | Sudu lengkung | Sudu datar | Sudu lengkung |
| 1 | 5 | 0.06 | 4.52 | 0.57 | 43.16 |
| 2 | 6 | 0.25 | 4.20 | 2.38 | 40.10 |
| 3 | 7 | 0.50 | 8.41 | 4.77 | 80.30 |
| 4 | 8 | 1.38 | 8.35 | 13.17 | 79.73 |
| 5 | 9 | 7.85 | 11.68 | 74.96 | 111.53 |



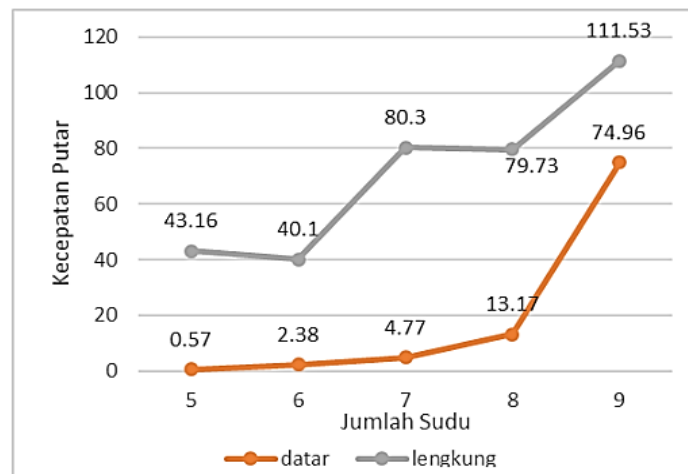
Gambar 9. Grafik kecepatan sudut pada sudu datar dengan celah dasar sungai 260 mm



Gambar 10. Grafik kecepatan sudut pada sudu lengkung dengan celah dasar sungai 260 mm.

Grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan nilai yang berbeda-beda pada masing-masing variasi sudu baik bentuk datar maupun lengkung namun menunjukkan kecenderungan yang sama yakni kecepatan sudut meningkat seiring dengan peningkatan jumlah sudu. Peningkatan nilai kecepatan sudut karena setiap penambahan sudu akan menambah luasan sudu yang didorong oleh air, yang mengakibatkan kincir mendapatkan gaya dorong yang semakin tinggi.

Untuk hasil simulasi kincir air undershot untuk variasi desain sudu, menunjukkan bahwa desain sudu dapat memengaruhi besar kecepatan sudut. Sudu dengan desain melengkung menghasilkan kecepatan sudut yang lebih tinggi dengan kecepatan sebesar 111.53 rpm sedangkan sudu bentuk datar yaitu 74.96 rpm, hal ini dikarenakan sudu lengkung mendapatkan benturan energi air yang besar dan air yang melewati bagian puncak dan bawah sudu lengkung akan terkumpul ke bagian pusat sudu [9].



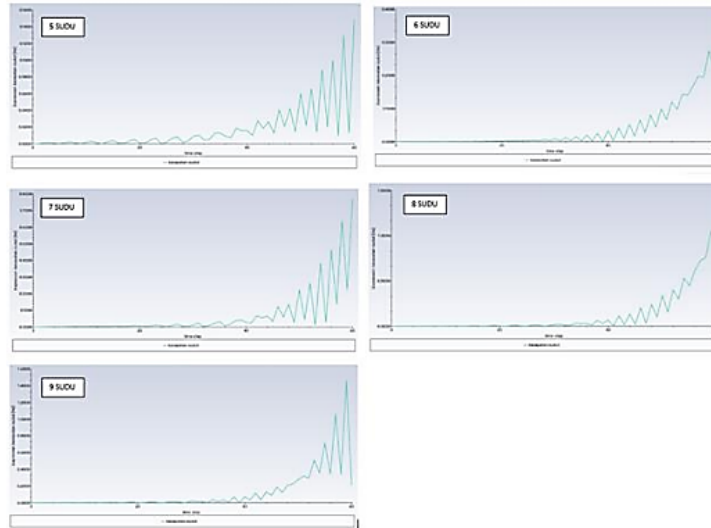
Gambar 11. Grafik kecepatan sudut variasi sudu dan bentuk

3.6 Kecepatan Sudut Dengan Celah Dasar Sungai 250 mm

Tabel 5. dan Gambar 12 menunjukkan kecepatan sudut dengan pada celah dasar sungai 250 mm sudu lengkung didapatkan hasil tertinggi pada sudu 9 dengan kecepatan 87.56 rpm dan paling terkecil pada sudu 5 dengan kecepatan 8.97 rpm. Jika mengacu pada hasil penelitian yang lain [8] penempatan poros kincir atau celah ke dasar sungai sangat mempengaruhi perubahan putaran sudut kincir angin. Baik pada sudu datar maupun sudu melengkung kecepatan sudut menurun jika dibandingkan dengan kondisi celah dasar sungai yang lebih tinggi. Namun pada kondisi keduanya, jumlah sudu 9 mempunyai kecepatan sudut yang maksimum.

Tabel 5. Nilai kecepatan sudut celah dasar sungai 250 mm

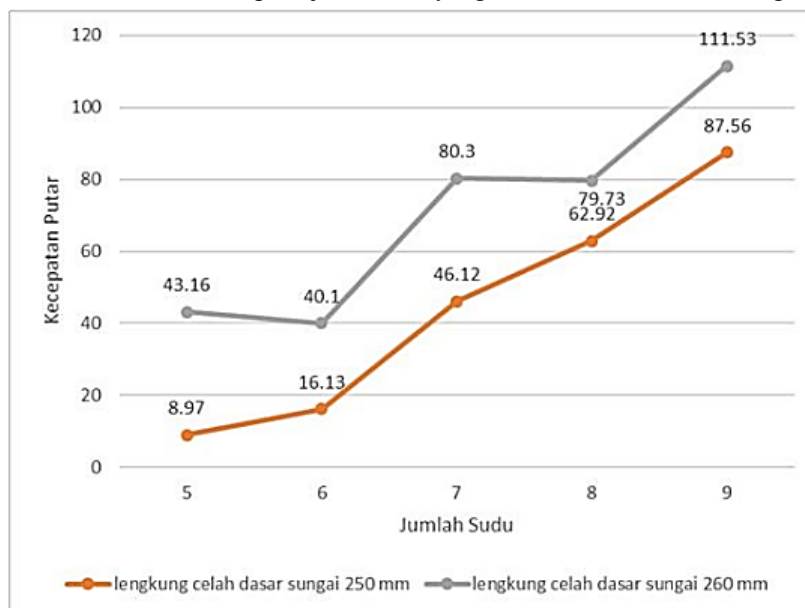
| No | Jumlah sudu | Kecepatan sudut (rad/s) | Kecepatan sudut (rpm) |
|----|-------------|-------------------------|-----------------------|
| | | Sudu lengkung | Sudu lengkung |
| 1 | 5 | 0.94 | 8.97 |
| 2 | 6 | 1.69 | 16.13 |
| 3 | 7 | 4.83 | 46.12 |
| 4 | 8 | 6.59 | 62.92 |
| 5 | 9 | 9.17 | 87.56 |



Gambar 12. Grafik kecepatan sudut pada sudu lengkung dengan celah dasar sungai 250 mm

3.7 Analisa Pengaruh Celah Dasar Sungai Kicir Air Terhadap Kecepatan Sudut

Grafik perbandingan kecepatan sudut sudu melengkung pada celah dasar sungai 260 mm dan 250 mm ditampilkan pada grafik Gambar 13. Celah dasar sungai sebesar 260 mm menghasilkan kecepatan sudut yang lebih tinggi dengan kecepatan sebesar 111.53 rpm sedangkan celah dasar sungai sebesar 250 mm yaitu 87.56 rpm. Celah dasar sungai dengan kincir air yang kecil mendapatkan gaya hambat yang lebih besar yang mengakibatkan putaran kincir menjadi lambat daripada celah dasar sungai dengan kincir air yang besar. Variasi perubahan kecepatan sudut lebih rendah pada jarak celah yang lebih rendah serta terlihat grafik lebih landai.



Gambar 13. Grafik kecepatan sudut variasi celah dasar sungai dengan kincir

KESIMPULAN

Pengukuran kecepatan aliran kali Cakung dan simulasi kincir air untuk Pembangkit Listrik Piko hidro dengan bentuk sudu kincir air undershot dengan variasi jumlah dan bentuk sudu telah dilakukan dengan hasil antar lain :

1. Hasil pengukuran kelajuan air pada kali Cakung menunjukkan bahwa aliran ini termasuk dalam jenis aliran turbulen karena bilangan Reynolds lebih besar 4000 yaitu 163473. Jenis aliran ini dapat memengaruhi kelajuan air pada saluran, yaitu memberikan dampak perlambatan atau bahkan percepatan pada titik tertentu. Nilai rata-rata kelajuan air pada kali Cakung berdasarkan hasil pengukuran sebesar 0,90 m/s.
2. Hasil simulasi kincir air undershot menunjukkan bahwa jumlah sudu berpengaruh terhadap kecepatan sudut kincir. Pada sudu datar maupun sudu melengkung kecepatan sudut meningkat untuk jumlah sudu 9 tetapi menurun pada jumlah sudu yang lainnya. Kecepatan sudut maksimum baik pada bentuk sudu datar maupun sudu melengkung tercapai pada jumlah sudu 9 buah dengan nilai berturut-turut 74,96 rpm dan 111,53 rpm.
3. Hasil simulasi kincir air undershot untuk variasi bentuk geometri sudu, menunjukkan bahwa bentuk sudu dapat memengaruhi besar kecepatan sudut. Sudu dengan bentuk lengkung menghasilkan kecepatan sudut yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk datar, yaitu untuk sudu lengkung berada pada kisaran 70,96 rpm dan untuk sudu datar hanya berada pada kisaran 19,17 rpm.
4. Jarak celah sudu kincir dengan dasar sungai mempengaruhi kecepatan sudut kincir. Makin dekat dengan dasar sungai untuk diameter kincir ini maka kecepatan sudut menurun sebagai akibat makin besarnya hambatan.

REFERENCES

- [1] T. I. Amirudin and M. Widyartono, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro Berbasis Motor DC Pada Penerapan Metode Light Trap," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, p. 2767, 2023.
- [2] M. A. Wahid and Z. Erwanto, "Perencanaan dan penerapan prototipe pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) dengan turbin tipe undershoot," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 2020, p. 8187.
- [3] T. R. , Agust, A. Setiawan, and A. Aminudin, "Simulasi Pengaruh Bentuk dan Jumlah Sudu Kincir Air Undershot Terhadap Kecepatan Sudut Melalui Metode Computation Fluid Dynamics (CFD) Menggunakan Software ANSYS Fluent," in *Seminar Nasional Fisika*, 2020, pp. 262–268.
- [4] R. W. Fox and A. T. Mc Donald, *Introduction to Fluid Mechanics*. Singapore: John Wiley and Son, 2000.
- [5] T. R. , Agust, A. Setiawan, and A. Aminudin, "Simulasi Pengaruh Bentuk dan Jumlah Sudu Kincir Air Undershot Terhadap Kecepatan Sudut Melalui Metode Computation Fluid Dynamics (CFD) Menggunakan Software ANSYS Fluent," in *Seminar Nasional Fisika*, 2020, pp. 262–268.
- [6] M. A. Wahid and Z. Erwanto, "Perencanaan dan penerapan prototipe pembangkit listrik tenaga piko hidro (PLTPH) dengan turbin tipe undershoot," in *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 2020, p. 8187.
- [7] M. Aziz, "Advanced Green Technologies Toward Future Sustainable Energy Systems," *Indonesian Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, p. 89, Mar. 2019, doi: 10.17509/ijost.v4i1.15805.
- [8] R. D. Syahrial, R. Soenoko, T. D. Widodo, and A. Sunarso, "PENGARUH TINGGI CELAH ALIRAN PADA SLUICE GATE TERHADAP KINERJA KINCIR AIR JENIS SUDU MELENGKUNG," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 97–103, May 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1095.
- [9] Anak Agung Adhi Suryawan and I Nengah Suweden, "Karakterisasi Kincir Air Sudu Melengkung pada Variasi Sudut Air Masuk (β_1) dan Sudut Kelengkungan Sudu (β)," *Jurnal Energi dan Manufaktur*, vol. 11, no. 1, pp. 30–35, 2018.