

Studi Numerik Pengaruh Lebar Sudu dan Jumlah Sudu pada Performansi Closed Type Multi Blade Impulse Wind Turbine

Charminuel Sihombing dan Herman Sasongko

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

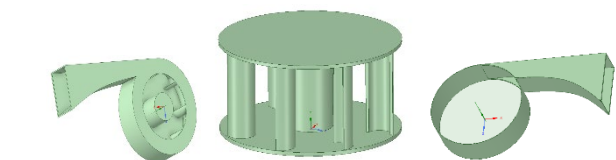
e-mail: herman@me.its.ac.id

Abstrak—Turbin angin yang hadir menjadi salah satu pilihan alternatif sumber energi khususnya energi listrik yang bersifat mikro maupun makro bagi wilayah Indonesia. Multiple blade closed type impulse wind turbine merupakan sebuah turbin inovasi dimana turbin ini merupakan suatu turbin angin jenis impuls tipe tertutup yang mempunyai banyak sudu-sudu. Dimana kerja dari Impulse turbine yaitu memanfaatkan drag force yang terjadi pada blade untuk menghasilkan torsi pada rotornya. Ketika aliran fluida melintasi blade Impulse turbine, tekanan statis aliran dianggap tetap. Pada turbin ini dipasang nozzle untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida sehingga meningkatkan momentum aliran pada nozzle. Peningkatan momentum aliran pada nozzle ini akan menurunkan tekanan statis pada luaran nozzle. Fluida dengan momentum tinggi ini kemudian menerpa rotor blade sehingga menghasilkan drag force yang selanjutnya akan menghasilkan torsi pada rotor. Kinerja turbin impuls sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin, lebar sudu, jumlah sudu, dan putaran rotor relatif terhadap kecepatan angin. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari lebar sudu dan jumlah sudu terhadap performansi dari Multiple blade closed type impulse wind turbine ini. variasi yang digunakan dalam penelitian ini dimana digunakan lebar sudu 0.17m dan 0.19m dan juga variasi jumlah sudu yaitu 8 buah dan 12 buah. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ANSYS FLUENT 2021 R2. Kondisi penelitian transient dengan menggunakan model turbulen $K-\epsilon$ standard turbulent. Kondisi dinding adalah no slip stationery wall. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah blade dengan lebar sudu 0.19m lebih efektif menghasilkan drag force jika dibandingkan dengan blade dengan lebar sudu 0.17m. Lalu pada variasi dengan jumlah blade 12 lebih efektif memanfaatkan aliran angin yang memasuki celah rotor sehingga lebih efektif menghasilkan gaya drag dibandingkan dengan variasi jumlah blade 8.

Kata Kunci—CFD, Turbin Angin, Turbin Impuls, Jumlah Blade, Lebar Blade, Pola Aliran.

I. PENDAHULUAN

ENERGI baru dan terbarukan (EBT) merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi dari menipisnya ketersediaan akan energi fosil yang ada. Energi baru dan terbarukan (EBT) juga merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis selama siklus alam masih tetap berlangsung. Selain itu, dalam penggunaannya untuk sebuah energi, efek yang dihasilkan juga ramah lingkungan dan tidak merusak keberadaan alam di sekitarnya. Potensi dari energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia sendiri cukup besar. Dengan variasi jenis yang sangat beragam dan juga ketersediaan sumber daya alam yang melimpah, tentunya hal ini sangat mendorong Indonesia untuk beranjak menuju sumber energi baru terbarukan. Hal ini dapat dilihat dari data Kementerian ESDM yang dikeluarkan pada 8 Maret 2021

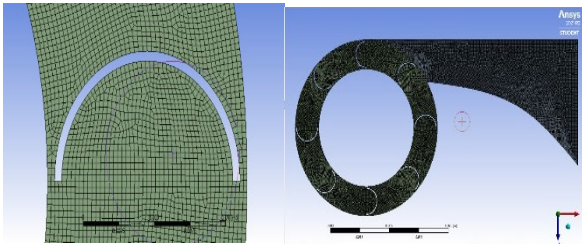


Gambar 1. Geometri turbin (a), rotor dan poros (b), casing (c).

Table 1.
Detail *Boundary Condition* beserta variasi simulasi

<i>Boundary condition</i>		
<i>Inlet</i>	<i>Velocity inlet</i>	
	<i>Kecepatan inlet</i>	14 m/s
<i>Wall</i>	<i>Stationary wall</i>	
	<i>Condition</i>	No-slip wall
<i>Blade & poros</i>	<i>Angular Velocity</i>	
	<i>Putaran</i>	300 rpm, 500rpm, 700rpm
<i>Outlet</i>	<i>Pressure outlet</i>	
	<i>Total pressure</i>	0 Pa
Variasi	<i>Jumlah sudu</i>	<i>Lebar blade</i>
	8	0.17m
		0.19m
	12	0.17m
		0.18

mengatakan bahwa Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar, yakni mencapai 417,8 gigawatt (GW). Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mencatat, potensi tersebut berasal dari arus laut samudera sebesar 17.9 GW, panas bumi 23,9 GW, bioenergi 32,6 GW, angin 60,6 GW, air 75 GW, dan matahari atau surya 207,8 GW. Hal ini terus ditingkatkan oleh pemerintah dan dapat dilihat target pemerintah pada peningkatan EBT ketenagalistrikan pada tahun 2025 yaitu sebesar 23%. Sedangkan pada tahun 2050 harus mencapai target bauran EBT sebesar 31% (BPPT, 2019). Selain itu untuk dapat memanfaatkan EBT ini secara maksimal maka dibutuhkan adanya pengembangan teknologi yang mendukung pengelolaan EBT. Salah satu contoh dimana konsumsi energi fosil terbesar diperoleh dari penggunaan kendaraan

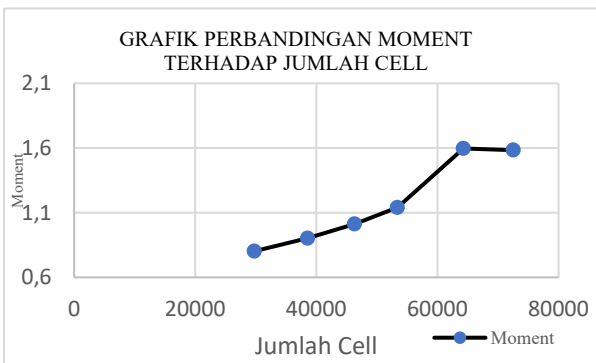


Gambar 2. Hasil meshing header pipa cooling water intake system PLTU.

Table 2.

Detail input nilai pada beberapa parameter

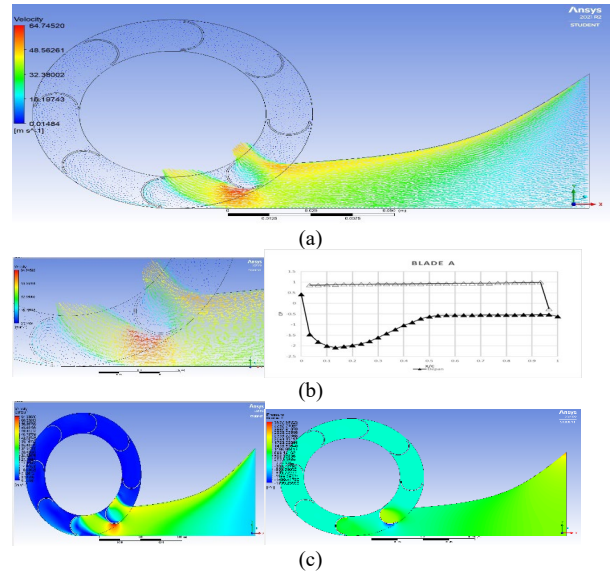
Parameter	Nilai
Metode	3 Dimensi
Solver type	Pressure-Based
Model viscous	k-ε
Pressure-Velocity	Coupled
Gradient	Least square cell based
Pressure	Second order
Momentum	Second order upwind
Turbulent kinetic energy	Second order upwind
Turbulent dissipation rate	Second order upwind
Kriteria konvergensi	10 ⁻⁶



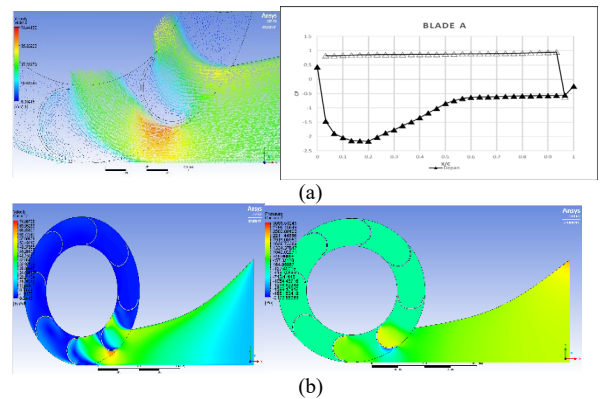
Gambar 3. Grafik perbandingan tekanan terhadap jumlah mesh.

bermotor. Pada saat ini sudah banyak solusi dalam mengatasi penggunaan bahan energi fosil pada kendaraan dan digantikan oleh energi listrik. Namun adanya gagasan inovatif dengan menggunakan konsep Energy Harvesting System pada kendaraan. Dimana konsep ini memanfaatkan energi gerak dari angin yang melaju pada bagian atas mobil akibat gerak laju mobil menjadi energi listrik melalui turbin yang dirancang untuk bisa dipasang pada bagian kap atas mobil. Turbin angin ini pun harus dirancang agar bisa mengkonversikan dengan baik energi listrik yang diperoleh dari turbin. Penelitian yang telah dilakukan terkait turbin impuls, pada dasarnya dimaksudkan untuk mengamati terjadinya drag force secara optimal dengan memvariasikan bentuk blade, ukuran blade, dan jumlah blade, pada kondisi momentum aliran masuk dan putaran turbin tertentu. Pada turbin angin savonius yang mempunyai dua blade, seringkali posisi relatif (overlap) antar blade menjadi faktor penting untuk dikaji.

Berbagai penelitian mengenai turbin savonius telah dilakukan, diantaranya penelitian IESR [1] yang bertujuan untuk menentukan parameter operasional yang paling efektif dengan menggunakan variasi geometri pada turbin angin Savonius guna meningkatkan kinerja dari rotor turbinnya. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah jumlah sudu turbin, yaitu dua sudu, tiga sudu, atau empat sudu; jumlah stages turbin yaitu satu stage dan dua stage; aspect ratio (α) sebesar 0,5, 1, 2, 4 dan 5; overlap ratio (β) sebesar



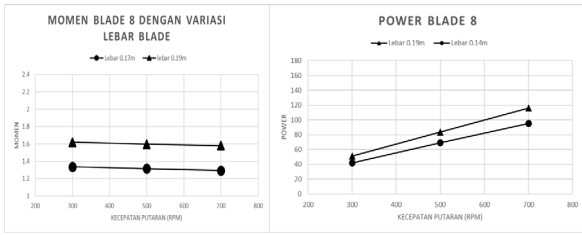
Gambar 4. Vektor kecepatan (a) Vektor kecepatan, Coefficient Pressure (b) Kontur kecepatan & kontur tekanan(c) pada blade 8, Lebar L = 0.17m.



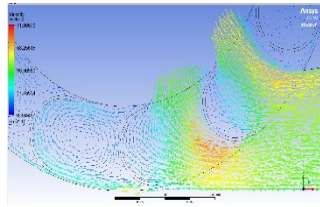
Gambar 5. Vektor kecepatan, Coefficient Pressure (b) Kontur kecepatan & kontur tekanan(c) pada blade 8, Lebar L = 0.19m.

0, 0,2, 0,25, 0,3, dan 0,35; serta dengan ada atau tidaknya end plate pada turbin angin Savonius. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa turbin dengan dua sudu memiliki efisiensi yang lebih tinggi daripada turbin dengan tiga sudu dan empat sudu. Turbin dua stage memiliki performa lebih tinggi dibandingkan dengan turbin satu stage. Turbin tanpa overlap ratio dapat bekerja lebih baik daripada dengan overlap ratio. Turbin dengan end plate memiliki efisiensi lebih tinggi daripada dengan tanpa end plate. Peningkatan aspect ratio juga menyebabkan performa dari turbin meningkat.

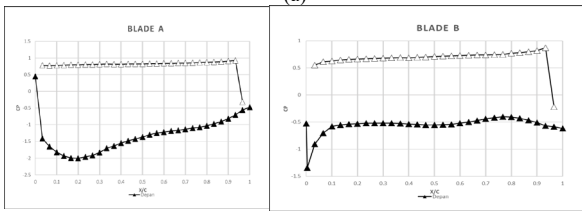
Kemudian penelitian IESR yang meneliti secara eksperimental mengenai karakteristik performa turbin savonius dengan variasi pada diameter dan jumlah sudu turbin [2]. Lalu Syukron Handi (2016). Beliau meneliti tentang optimasi performa torsi dan koefisien daya yang dihasilkan dari turbin savonius variasi 2 sudu, 3 sudu, dan 4 sudu pada berbagai kecepatan angin yang berbeda. Hasil dari penelitian ini adalah putaran rotor dan daya rotor maksimum dihasilkan pada kecepatan angin 5 m/s dengan diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4 menggunakan konsentrator sebesar 248,73 rpm dan 4,67 Watt. Koefisien daya rotor maksimal yang didapat sebesar 0.39 pada turbin angin dengan konsentrator pada kecepatan angin 4,75 m/s dengan diameter sudu 6 cm dan jumlah sudu 4.



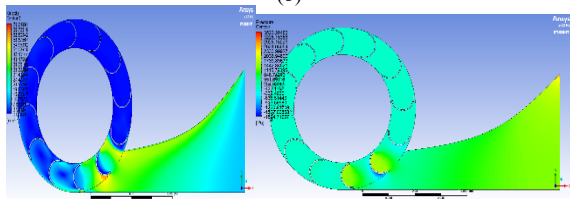
Gambar 6. Momen & Power *blade* 8.



(a)



(b)

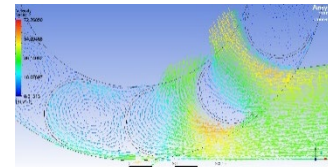


(c)

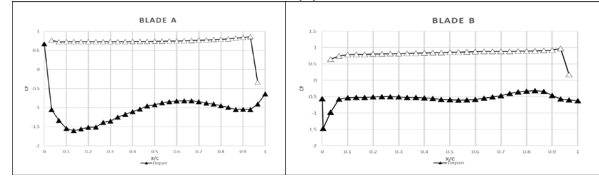
Gambar 7. Vektor kecepatan (a) *Coefficient Pressure* (b) Kontur kecepatan & kontur tekanan(c) pada *blade* 12, Lebar L = 0.17m.

Penelitian Krzysztof Sobczak [3] bertujuan dilakukannya eksperimen untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jumlah blade dan bentuk nozzle Blade yang digunakan variasi 17,18,19,20 sudu. Turbin dihubungkan dengan generator dan daya yang dihasilkan akan didapatkan dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Hasil dari penelitian ini diperoleh Daya mekanik maksimum perbandingan antara nosel lingkaran dan nosel persegi dari variasi jumlah sudu yaitu 20, 19, 18, dan 17 terbaik adalah pada sudu 18 menggunakan nosel lingkaran diperoleh daya mekaniknya sebesar 261,722 W pada putaran 851,754 rpm, dan daya mekanik terendah terjadi pada nosel persegi yaitu pada sudu 19 sebesar 228,999 W pada putaran 1086,85 rpm. Efisiensi sistem maksimum pada perbandingan saat menggunakan nosel lingkaran dan nosel persegi dari variasi jumlah sudu yaitu 20, 19, 18, dan 17 terbaik adalah pada sudu 20 menggunakan nosel lingkaran diperoleh efisiensi sistemnya sebesar 22,664 % pada putaran 880,148 rpm, dan efisiensi sistem terendah terjadi pada nosel persegi yaitu pada sudu 19 sebesar 18,97 % pada putaran 970,282.

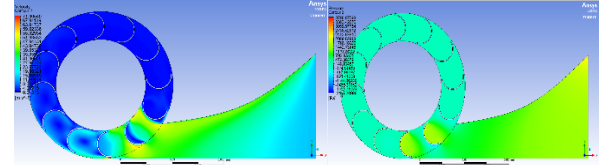
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu dan lebar sudu terhadap performansi Multiple blade closed type impulse wind turbine pada skala simulasi. Performansi turbin ini akan dianalisa berdasarkan pola medan aliran yang terjadi didalam rotornya. Jumlah sudu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8 dan 12 buah. Dan lebar sudu yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.17m



(a)

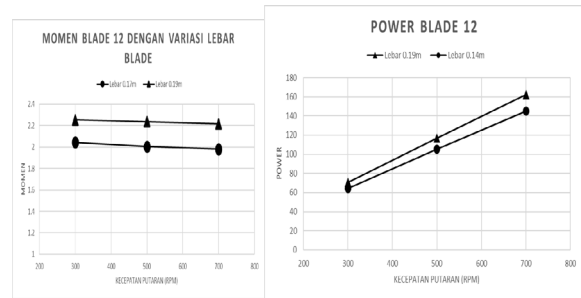


(b)



(c)

Gambar 8. Vektor kecepatan (a) *Coefficient Pressure* (b) Kontur kecepatan & kontur tekanan(c) pada *blade* 12, Lebar L = 0.19m



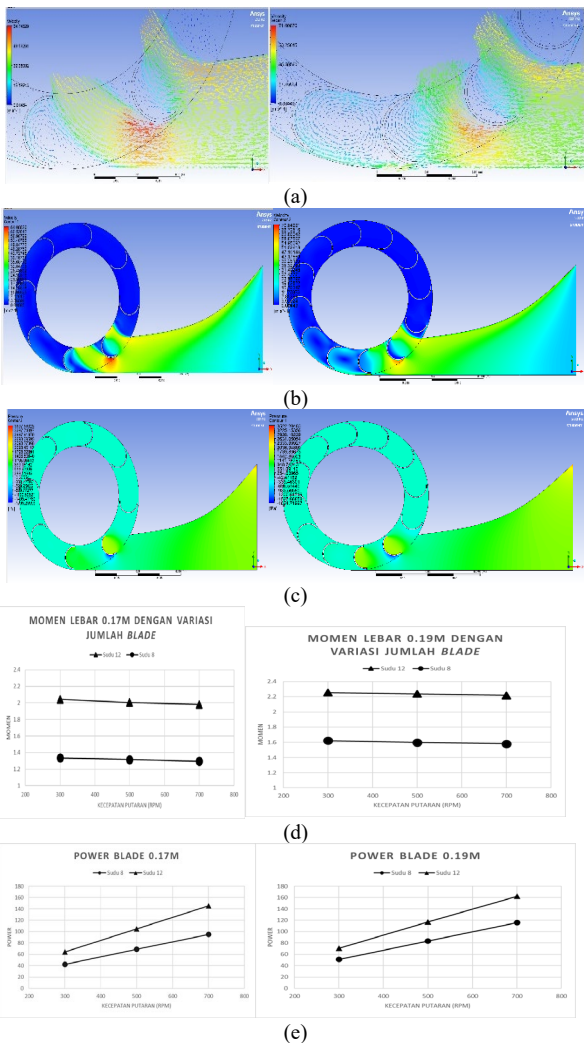
Gambar 9. Momen & Power *blade* 12.

dan 0.19m. Penelitian ini dilakukan dengan aplikasi ANSYS 2021 R2

II. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode komputasi numerik. Tahapan dalam metode komputasi numerik ini ada tiga, pertama adalah tahapan pre-processing, solver/processing, dan post processing. Pre-processing merupakan tahapan untuk mempersiapkan domain simulasi. Processing adalah tahap inti dalam simulasi yang merupakan tahap dilakukannya iterasi untuk mendapatkan hasil akhir simulasi. Hasil akhir simulasi kemudian akan diproses dalam tahap post-processing untuk diambil data kualitatif dan kuantitatifnya yang kemudian diinterpretasikan. Software yang digunakan dalam metode komputasi numerik ini adalah antara lain ANSYS 2021 R2, dan ANSYS FLUENT.

Pada tahapan pre-processing proses menyiapkan domain ini dilakukan dalam beberapa langkah, pertama adalah langkah membuat geometri turbin dengan Ansys Space Claim Geometry yang digunakan untuk simulasi. Kemudian setelah geometri turbin didapatkan diambil bagian tengah turbin untuk dijadikan domain simulasi. Domain simulasi kemudian di meshing dan didefinisikan kondisi batasnya dengan ANSYS 2021 R2. Di tahap solver/processing ditentukan beberapa kondisi dari simulasi pada ANSYS FLUENT 21 seperti fenomena fisis, properti fluida, solution method dan monitor residual sebelum menjalankan simulasi. Hasil



Gambar 10. Vektor kecepatan (a) Kontur kecepatan (b) Kontur tekanan (c) Momen & Power (d)(e).

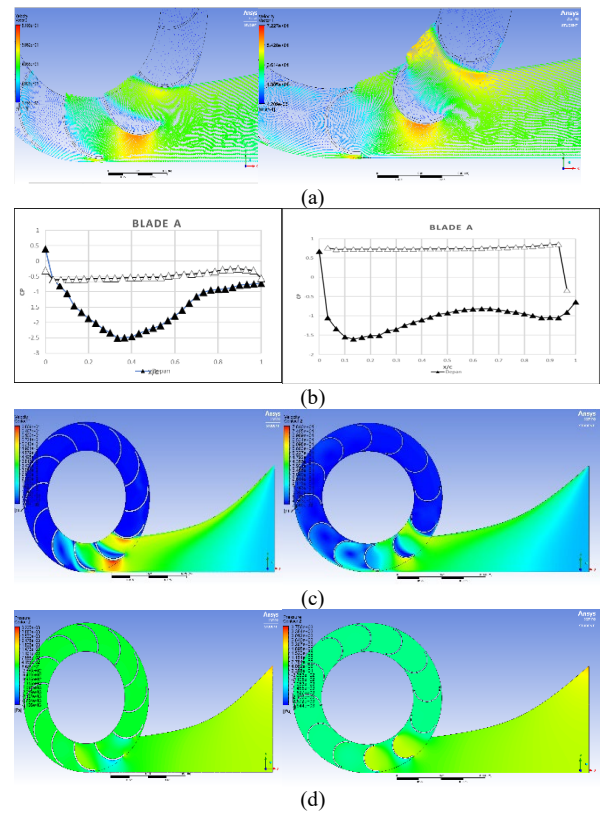
simulasi kemudian diolah pada tahap post-processing untuk diambil data kuantitatif dan kualitatif seperti persebaran kecepatan, kontur tekanan. Geometri turbin dapat dilihat pada Gambar 1.

Kondisi batas untuk simulasi ditentukan pada ANSYS WORKBENCH 21. Karena pemodelan aliran ini didasarkan pada kondisi berupa aliran tertutup (closed type) maka kondisi batas terbagi menjadi inlet, outlet, dan wall. Aliran akan memasuki turbin melalui inlet dan keluar melalui outlet lingkaran ditengah rumah turbin seperti gambar 2. Sisa geometri domain simulasi dianggap sebagai dinding pembatas aliran (wall). Detail boundry condition beserta variasi simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Gambar 2 merupakan meshing yang dihasilkan pada penelitian ini. Jumlah mesh yang dihasilkan yaitu sebanyak 64280 cell dan menggunakan tipe mesh hybrid dengan jenis tetrahedron dan hexahedron.

Processing merupakan langkah kedua dalam tahapan pemodelan dan simulasi. Tahapan processing dilakukan dengan software ANSYS Fluent 21 dengan melakukan input dan pengaturan pada perangkat lunak tersebut. Untuk detail input dan pengaturan simulasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Post-processing merupakan langkah terakhir dalam tahapan pemodelan dan simulasi dimana diperoleh hasil kualitatif berupa gambaran hasil simulasi dan data kuantitatif



Gambar 11. Vektor kecepatan (a) Coefficient Pressure (b) Kontur kecepatan (c) Kontur tekanan (d).

berupa tabel atau grafik, baik berupa kontur kecepatan, kontur tekanan, dan vector kecepatan. Untuk memperoleh data-data tersebut, dalam ANSYS Fluent 21 menyediakan fasilitas Results untuk memberikan pilihan bagi pengguna untuk menampilkan data hasil simulasi

Pada penelitian ini, dilakukan grid independency test, diperoleh nilai kestabilan moment pada jumlah cell 64280 cell dengan nilai momen 1,596269Nm.t Grafik perbandingan tekanan terhadap jumlah mesh dapat dilihat pada Gambar 3.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada turbin dengan kelengkungan blade $\beta_1 = 0^\circ$ & $\beta_2 = 180^\circ$ memiliki lengkung sisi depan bagian buritan yang cenderung menginduksikan adverse pressure yang kuat yang mengakibatkan terjadinya separasi aliran lebih awal. Percepatan aliran yg terjadi disisi ini segera terhenti akibat terjadinya separasi aliran. Sudu ini lebih luas dilingkupi wake dengan tekanan rendah hampir konstan yang tidak serendah dibandingkan bila akselerasinya berlanjut hingga mendekati trailing edge. Saat bergerak melintasi celah masuk rotor separasi aliran disisi depan sudu ini lebih cepat bergeser kearah leading edge. Perbedaan tekanan antara sisi depan dan sisi belakang sudu ini tidak cukup besar. Setelah memasuki celah masuk rotor. Dari Gambar 4 terlihat aliran menghantam bagian leading edge pada blade dan terjadinya stagnasi aliran pada ujung blade, lalu aliran fluida terbagi menjadi dua aliran. Pertama, aliran yang mengalir ke bagian belakang blade, aliran tersebut lanjut mengalir hingga menghantam bagian pressure site pada blade hingga akhirnya keluar menuju outlet. Pada bagian pressure site dapat dilihat adanya vortex aliran yang terbentuk akibat hantaman aliran sehingga tekanan pada daerah pressure site menjadi tinggi. Kedua,

aliran yang mengalir ke bagian suction site, aliran ini lanjut mengalir sepanjang blade dimana terjadinya flow acceleration pada bagian awal yang ditandai dengan perubahan warna menjadi merah pada kontur kecepatan. Namun aliran pada daerah ini mengalami seperasi sebelum mencapai bagian tengah blade. Aliran yang mengalami separasi pada blade A nampak belum sempat menghantam bagian cekung dari blade B dan langsung lanjut mengalir keluar melalui outlet. Sedikitnya aliran yang dapat dimanfaatkan blade dikarenakan jarak antar blade yang lebar dengan bentuk blade yang menginduksikan adverse pressure yang kuat yang mengakibatkan terjadinya separasi aliran lebih awal membuat turbin ini kurang optimal dalam menghasilkan drag force. Pada grafik blade pressure coefficient dapat diketahui letak posisi titik separasi pada aliran. Pada gambar 4 ditunjukkan grafik pressure coefficient untuk blade A. Pada grafik tersebut terlihat nilai C_p semakin menurun pada bagian depan blade dimulai dari arah leading edge ke bagian trailing edge karena terjadinya akselerasi aliran. Lalu semakin mendekati trailing edge tekanan naik sedikit sebelum akhirnya mencapai sebuah titik konstan. Daerah separasi ditandai dengan tekanan yang konstan. Dari grafik tersebut dapat dilihat pada blade bagian depan mengalami seperasi di awal di X/C 0.55, sedangkan pada bagian cekung atau belakangnya diisi oleh vortex dengan tekanan yang tinggi.

Pada turbin dengan kelengkungan blade $\beta_1 = 0^\circ$ & $\beta_2 = 180^\circ$, terlihat memiliki lengkung sisi depan bagian buritan yang cenderung menginduksikan adverse pressure yang kuat yang mengakibatkan terjadinya separasi aliran lebih awal. Percepatan aliran yg terjadi disisi ini segera terhenti akibat terjadinya separasi aliran. Sudu ini lebih luas dilingkupi wake dengan tekanan rendah hampir konstan yang tidak serendah dibandingkan bila akselerasinya berlanjut hingga mendekati trailing edge. Saat bergerak melintasi celah masuk rotor separasi aliran disisi depan sudu ini lebih cepat bergeser ke arah leading edge. Perbedaan tekanan antara sisi depan dan sisi belakang sudu ini tidak cukup besar.

Pada putaran 300rpm dari gambar 5 bahwa seperasi yang terjadi lebih lambat dari putaran 500rpm. Ini terjadi setelah melewati titik X/C 0.6. Grafik blade pressure coefficient untuk putaran rotor 500 rpm terlihat pada gambar 6.

Lalu dilakukan analisa pada kontur kecepatan aliran pada ketiga macam kecepatan putaran. Pada gambar 7 menunjukkan kontur pada kecepatan putaran 300rpm, kontur kecepatan aliran yang dihasilkan turbin pada putaran berhasil mempertahankan kontur warna merah atau kecepatan tinggi yang relative lebih lama dibandingkan dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi. Perbedaan tekanan antara bagian belakang blade yang relative tinggi dan bagian depan yang relative rendah juga dipertahankan lebih lama dibandingkan dengan kondisi kecepatan putaran yang lebih tinggi. Momen yang dihasilkan pada putaran 300rpm diperoleh lebih tinggi dibandingkan momen yang dihasilkan pada putaran 500rpm dan 700rpm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin rendah pula kecepatan relative pada blade sehingga gaya drag dan momen yang dihasilkan pun akan semakin rendah.

Momen pada lebar blade 0.19m diperoleh lebih tinggi dibandingkan lebar blade 0.17m. Pada pengujian ketika semua parameter-parameter uji lainnya dijaga tetap, maka

blade yang memiliki lebar lebih panjang akan memperlemah adverse pressure gradient disektor buritan permukaan depan sudu. Hal inilah yg menyebabkan tertundanya separasi aliran pada blade 0.19m. Nilai momen paling tinggi didapatkan pada lebar blade 0.19m pada kecepatan putaran 300 rpm, yaitu 1.620454 Nm. Sedangkan pada lebar blade 0.17m momen paling tinggi didapatkan pada kecepatan putaran 300 rpm dengan nilai 1.336501 Nm.

Pada turbin dengan kelengkungan blade ($\beta_1 = 0^\circ$ & $\beta_2 = 180^\circ$), terlihat memiliki lengkung sisi depan bagian buritan yang cenderung menginduksikan adverse pressure yang kuat yang mengakibatkan terjadinya separasi aliran lebih awal. Percepatan aliran yg terjadi disisi ini segera terhenti akibat terjadinya separasi aliran. Sudu ini lebih luas dilingkupi wake dengan tekanan rendah hampir konstan yang tidak serendah dibandingkan bila akselerasinya berlanjut hingga mendekati trailing edge. Saat bergerak melintasi celah masuk rotor separasi aliran disisi depan sudu ini lebih cepat bergeser ke arah leading edge. Perbedaan tekanan antara sisi depan dan sisi belakang sudu ini tidak cukup besar. Setelah memasuki celah masuk rotor. Dari Gambar 9 terlihat aliran menghantam bagian leading edge pada blade dan terjadinya stagnasi aliran pada ujung blade, lalu aliran fluida terbagi menjadi dua aliran. Pertama, aliran yang mengalir ke bagian belakang blade, aliran tersebut lanjut mengalir hingga menghantam bagian pressure site pada blade hingga akhirnya keluar menuju outlet. Pada bagian pressure site dapat dilihat adanya vortex aliran yang terbentuk akibat hantaman aliran sehingga tekanan pada daerah pressure site menjadi tinggi. Kedua, aliran yang mengalir ke bagian suction site, aliran ini lanjut mengalir sepanjang blade dimana terjadinya flow acceleration pada bagian awal yang ditandai dengan perubahan warna menjadi merah pada kontur kecepatan. Namun aliran pada daerah ini tidak mengalami seperasi hingga ke ujung blade. Melainkan pada sisi cekungnya hanya didapati aliran yang sangat melambat terhalang (blockaged) oleh permukaan cekung sehingga tekanan statisnya tinggi. Menuju ujung keluar blade, tekanan ini perlahan naik karena lebih tertahan oleh permukaan cekung, namun tiba-tiba di trailing edge tekanan turun tajam karena aliran akhirnya bisa terlepas dari cekungan dengan kecepatan tinggi. Hambatan aliran di bidang cekung blade inilah yang mendesak aliran untuk tetap bertahan di permukaan cembung blade A tanpa terseparasi. Akibatnya lebih banyak aliran yang dapat dimanfaatkan blade karena tidak terjadinya seperasi aliran pada bagian cembung blade A yang membuat kerapatan antar blade ini dapat meningkatkan optimasi dalam menghasilkan drag force. Kemudian dibuat grafik blade pressure coefficient untuk menunjukkan posisi titik separasi pada aliran. Grafik pressure coefficient untuk blade A dan B ditunjukkan pada gambar 9. Terlihat grafik blade A, aliran tidak mengalami seperasi hingga trailing edge. Aliran diketahui hanya mengalami kenaikan tekanan hingga ke ujung blade. Sedangkan pada bagian belakang blade A terdapat vortex aliran yang bertekanan tinggi. Kemudian pada blade B, di sisi cembungnya terjadi seperasi di ujung leading edge sehingga seperasi sangat cepat terjadi ketika mengenai bagian cembung blade B dan setelah itu hanya ada vortex aliran yang bertekanan rendah. Sedangkan pada sisi bagian cekungnya yang berhadapan pada sisi cembung blade. pada sisi cekungnya

hanya terdapat hambatan aliran yang mendesak aliran dari blade A dimana alian ini bertekanan cukup tinggi. Pada gambar kontur aliran dapat dianalisa pada ketiga macam kecepatan putaran. Pada kecepatan putaran 300rpm, kontur aliran yang dihasilkan turbin pada putaran berhasil mempertahankan kontur warna merah atau kecepatan tinggi yang relative lebih lama dibandingkan dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi. Perbedaan tekanan antara bagian belakang blade yang relative tinggi dan bagian depan yang relative rendah juga dipertahankan lebih lama dibandingkan dengan kondisi kecepatan putaran yang lebih tinggi. Namun dengan variasi jumlah blade yang diperbanyak dari 8 blade menjadi 12 blade memungkinkan jumlah sudu yang secara efektif menghasilkan gaya drag ini pada putaran rendah menghasilkan gaya drag yang optimal di tiap blade dalam kurun waktu tertentu. Hal ini juga dapat dikarenakan semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin rendah pula kecepatan relative pada blade sehingga gaya drag dan momen yang dihasilkan pun akan semakin rendah. Seperti hasil yang diperoleh dari simulasi pada variasi dengan 12 blade nilai momen tertinggi diperoleh pada kecepatan putaran 300rpm. Vektor kecepatan dapat dilihat pada Gambar 8

Pada turbin dengan kelengkungan blade ($\beta_1 = 0^\circ$ & $\beta_2 = 180^\circ$), terlihat memiliki lengkung sisi depan bagian buritan yang cenderung menginduksikan adverse pressure yang kuat yang mengakibatkan terjadinya separasi aliran lebih awal. Percepatan aliran yg terjadi disisi ini segera terhenti akibat terjadinya separasi aliran. Sudu ini lebih luas dilingkupi wake dengan tekanan rendah hampir konstan yang tidak serendah dibandingkan bila akselerasinya berlanjut hingga mendekati trailing edge. Saat bergerak melintasi celah masuk rotor separasi aliran disisi depan sudu ini lebih cepat bergeser kearah leading edge. Perbedaan tekanan antara sisi depan dan sisi belakang sudu ini tidak cukup besar. Kemudian dibuat grafik blade pressure coefficient untuk menunjukkan posisi titik separasi pada aliran. Grafik pressure coefficient untuk blade A dan B ditunjukkan pada gambar 10. Terlihat grafik blade A, aliran tidak mengalami seperasi hingga trailing edge. Aliran diketahui hanya mengalami kenaikan tekanan hingga ke ujung blade. Sedangkan pada bagian belakang blade A terdapat vortex aliran yang bertekanan tinggi. Kemudian pada Blade B, di sisi cembungnya terjadi seperasi di ujung leading edge sehingga seperasi sangat cepat terjadi ketika mengenai began cembung blade B dan setelah itu hanya ada vortex aliran yang bertekanan rendah. Sedangkan pada sisi bagian cekungnya yang berhadapan pada sisi cembung blade pada sisi cekungnya hanya terdapat hambatan aliran yang mendesak aliran dari blade A dimana alian ini bertekanan cukup tinggi. Pada gambar kontur aliran dapat dianalisa pada ketiga macam kecepatan putaran. Pada kecepatan putaran 300rpm, kontur aliran yang dihasilkan turbin pada putaran berhasil mempertahankan kontur warna merah atau kecepatan tinggi yang relative lebih lama dibandingkan dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi. Perbedaan tekanan antara bagian belakang blade yang relative tinggi dan bagian depan yang relative rendah juga dipertahankan lebih lama dibandingkan dengan kondisi kecepatan putaran yang lebih tinggi. Namun dengan variasi jumlah blade yang diperbanyak dari 8 blade menjadi 12 blade memungkinkan jumlah sudu yang secara efektif menghasilkan gaya drag ini pada putaran rendah

menghasilkan gaya drag yang optimal di tiap blade dalam kurun waktu tertentu. Hal ini juga dapat dikarenakan semakin tinggi kecepatan putaran maka semakin rendah pula kecepatan relative pada blade sehingga gaya drag dan momen yang dihasilkan pun akan semakin rendah. Seperti hasil yang diperoleh dari simulasi pada variasi dengan 12 blade nilai momen tertinggi diperoleh pada kecepatan putaran 300rpm. Momen dan power blade 12 dapat dilihat pada Gambar 9.

Terlihat juga bahwa nilai momen yang dihasilkan untuk lebar blade 0.19m lebih tinggi dibandingkan lebar blade 0.17m. Pada pengujian ketika semua parameter-parameter uji lainnya dijaga tetap, maka blade dengan blade yang memiliki lebar lebih panjang akan memperlemah adverse pressure gradient disektor buritan permukaan depan sudu. Hal inilah yg menyebabkan tertundanya separasi aliran pada blade dengan lebar 0.19m. Nilai momen paling tinggi didapatkan pada lebar blade 0.19m pada kecepatan putaran 300 rpm, yaitu 2.25299 Nmsedangkan pada lebar blade 0.17m momen paling tinggi didapatkan pada kecepatan putaran 300 rpm dengan nilai 2.04208 Untuk grafik daya pada gambar 11, nilai daya untuk masing-masing lebar blade terlihat selalu mengalami kenaikan seiring dengan naiknya kecepatan putaran. Hal ini dikarenakan daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh nilai momen dan juga kecepatan putaran. Persentase naiknya kecepatan putaran lebih tinggi dibandingkan dengan persentase turunnya nilai momen sehingga didapatkan hasil semakin tinggi kecepatan putaran, daya yang dihasilkan selalu semakin besar.

Pada gambar 10 terlihat vector kecepatan turbin Lebar blade 0.17m dengan jumlah blade 12 dan 8 pada posisi blade yang sama. Pada turbin dengan jumlah blade 12 pada blade A menghasilkan kontur kecepatan berwarna merah pada bagian depan dan lebih luas hingga ke tengah blade. sedangkan pada turbin dengan jumlah blade 8 kontur berwarna merah tidak luas. Pada turbin dengan blade 8 mengalami separasi lebih awal dibandingkan turbin blade 12 sehingga perbedaan tekanan pada blade A lebih tinggi pada turbin blade 12 dibandingkan pada blade 8. Pada turbin blade 12 juga terlihat memiliki 2 blade yang aktif dilalui oleh aliran angin melalui celah masuk rotor yaitu blade A dan B sedangkan pada turbin blade 8 hanya memiliki 1 blade yang aktif terkena aliran angin yaitu A. Inilah yang menyebabkan turbin blade 12 lebih efektif dalam menghasilkan drag force dibandingkan dengan turbin blade 8. Kemudian pada gambar 12, ditunjukkan vector kecepatan untuk turbin blade 12 dan 8 untuk pada lebar 19mm. Pada blade A bagian depan, untuk turbin blade 12 aliran tidak mengalami separasi sedangkan pada turbin blade 8 aliran sudah mengalami separasi sebelum sampai ke bagian tengah blade sehingga perbedaan tekanan lebih tinggi dimiliki untuk turbin dengan blade 12. Untuk turbin blade 12 memiliki 2 blade yang aktif terkena aliran melalui celah masuk rotor sedangkan untuk turbin blade 8 hanya memiliki 1 blade yang aktif terkena aliran. Inilah yang menyebabkan turbin blade 12 lebih efektif dalam menghasilkan drag force dibandingkan turbin blade 8. Pada kontur kecepatan dan tekanan dapat dilihat pada turbin dengan 12 blade, aliran yang memasuki celah masuk rotor berhasil menumbuk 3 blade sedangkan pada blade 8 hanya menumbuk 2 blade. Pada data kuatitatif yang diambil dari nilai momen dan daya yang dihasilkan. Pada 10 menunjukkan momen yang dihasilkan antara 2 variasi turbin tersebut. Dapat disimpulkan bahwa

turbin dengan jumlah blade 12 menghasilkan nilai momen yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin dengan jumlah blade 8. Hal ini disebabkan karena lebih banyak blade maka drag force yang dihasilkan tiap blade juga semakin besar. Kemudian pada gambar 12 ditunjukkan grafik daya yang dihasilkan dari turbin dengan jumlah blade 12 dan 8. Terlihat daya yang dihasilkan pada turbin dengan jumlah blade 12 menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin jumlah blade 8. Vektor kecepatan dapat dilihat pada Gambar 11.

Pada pembahasan diskusi ini akan dibahas mengenai optimasi variasi pada turbin. Analisa yang akan dibahas adalah perubahan bentuk lengkung blade dari lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ menjadi bentuk lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 90^\circ$. Dari perubahan ini akan diduga dengan mengubah bentuk lengkung blade akan lebih optimal dalam memanfaatkan aliran angin yang masuk melalui celah masuk rotor. Penulis melakukan simulasi dengan perubahan bentuk lengkung blade dari lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$. Namun momen yang didapatkan lebih rendah dibandingkan turbin dengan bentuk lengkung blade dari lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$. dengan parameter yang lainnya dijaga tetap. Nilai momen yang didapatkan adalah 2,12256 Nm lebih rendah dibandingkan dengan lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ yang mendapatkan momen 2,25299 Nm pada kecepatan putaran yang sama 300 rpm. Hal ini dikarenakan pada bentuk lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 90^\circ$, masih terjadi seperasi aliran pada bagian trailing edge dan perbedaan tekanan antara sisi depan sisi belakang blade lebih kecil dibandingkan bentuk lengkung blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$. Pada gambar 10 dilakukan perbandingan antar kontur kecepatan pada bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 90^\circ$ dan bentuk blade $\beta_1 = \beta_2 = 180^\circ$. Bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ aliran masuk dari celah masuk rotor lebih efektif menabrak sisi bagian cekung pada blade. Dan juga pada bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ lebih lama mempertahankan kontur kecepatan merah sehingga lebih efektif dalam menghasilkan drag. Pada gambar 10 terlihat gambar blade pressure coefficient untuk blade A bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 90^\circ$. Dapat dilihat perbedaan nilai tekanan antara sisi bagian depan dan bagian belakang tidak jauh berbeda sehingga diketahui perbedaan tekanan antara kedua sisi bernilai kecil. Hal ini mengakibatkan gaya drag yang dihasilkan tipe blade ini kecil. Pada gambar 11 dilakukan perbandingan kontur kecepatan antara kedua jenis variasi bentuk lengkung blade. Pada turbin dengan bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ terlihat aliran mengenai lebih banyak blade sehingga dapat menghasilkan gaya drag yang lebih optimal k dibandingkan aliran pada blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 90^\circ$. Pada gambar 11 dilakukan perbandingan tekanan kontur antara kedua jenis variasi bentuk lengkung blade. Pada turbin dengan bentuk blade $\beta_1 = 0^\circ$ dan $\beta_2 = 180^\circ$ terlihat daerah dengan kontur tekanan lebih rendah pada bagian depan blade jika dibandingkan dengan $\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ$. Sehingga ketika

semakin besar perbedaan tekanan bagian sisi depan dan belakang blade maka akan semakin efektif blade tersebut dalam menghasilkan drag force.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil simulasi numerik dengan berbagai variasi jumlah blade dan lebar blade yang sudah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan;(1) Blade dengan lebar blade 0.17m diamati pada saat pengujian dengan keadaan semua parameter-parameter uji lainnya dijaga tetap, maka pada blade yang memiliki lebar lebih pendek akan mengalami adverse pressure gradient lebih besar disektor buritan permukaan depan sudu. Hal inilah yg menyebabkan separasi aliran pada blade 0.17m lebih cepat terjadi. Sehingga pada lebar blade ini kurang efektif dalam menghasilkan drag force;(2) Blade dengan lebar blade 0.19m terlihat pada saat pengujian dengan keadaan semua parameter-parameter uji lainnya dijaga tetap, maka pada blade yang memiliki lebar lebih panjang akan memperlemah adverse pressure gradient disektor buritan permukaan depan sudu. Hal inilah yg menyebabkan tertundanya separasi aliran pada blade 0.17m, bahkan tidak terjadinya seperasi aliran hingga ke ujung trailing edge pada blade. Sehingga pada lebar blade ini lebih efektif dalam menghasilkan drag force;(3) Turbin dengan jumlah blade 12 memiliki lebih banyak sudu yang aktif menerima aliran angin pada saat aliran memasuki celah rotor sehingga lebih efektif dalam memanfaatkan aliran angin. Semakin banyak juga blade yang digunakan maka semakin efektif juga bagian cekung blade dalam menerima aliran yang mengalami separasi pada permukaan depan blade sebelumnya;(4) Turbin dengan jumlah blade 8 memiliki lebih sedikit sudu yang aktif dalam menerima aliran angin yang memasuki celah rotor sehingga berkurangnya jumlah blade bisa menyebabkan kurang pemanfaatan aliran angin yang masuk melalui celah rotor.

Penelitian simulasi numerik desain Multiple blade closed type impulse wind turbine ini merupakan studi tahap awal yang masih perlu dikembangkan lebih jauh lagi. Oleh karena itu penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya;(1) Dilakukannya pengujian untuk mencari nilai lebar blade yang paling optimal dalam menghasilkan drag force;(2) Dilakukannya pengujian untuk mencari nilai jumlah blade yang paling optimal dalam menghasilkan drag force.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IESR, "Beyond 443 GW – Indonesia's Infinite Renewable Energy Potentials," Institute for Essential Service Reform : Jakarta, 2021.
- [2] I. I. C. E. Outlook, "Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia," *Institute for Essential Services Reform: Jakarta, Indonesia*, vol. Desember 2019, pp. 1–72, 2019.
- [3] K. Sobczak, "Numerical investigations of an influence of the aspect ratio on the Savonius rotor performance," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1101, no. 1, pp. 0–12034, Oct. 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1101/1/012034.