

Studi Numerik Penambahan Dimple Pada Turbin Angin Savonius Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika

Fakhruddin Ma'ruf Hidayatulloh¹, Gunawan Sakti², Bambang Junipitoyo³

Program Studi Teknik Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Surabaya
Email: fakhruddinmaruf@poltekbangsby.ac.id

ABSTRAK

Pressure drag yang besar pada *returning blade* turbin angin Savonius membuat performa turbin kurang optimal. Upaya untuk menurunkan *pressure drag* dilakukan dengan penambahan dimple pada permukaan *returning blade*. Hal ini dibuktikan dengan efek *dimple* pada bola golf yang terbukti dapat menunda separasi aliran udara sehingga bola dapat melaju pesat. Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode numerik dengan mendesain model 2D turbin Savonius pada diameter turbin $d = 200$ mm, kedalaman *dimple* pada *returning blade* $k = 1$ mm dan jarak antara kolom *dimple* $s = 14^\circ$ relatif terhadap titik pusat *blade* turbin. Penelitian dilaksanakan pada Reynolds Number $Re = 6.31 \times 10^4$ dengan kecepatan $V = 5$ m/s. Analisis dilakukan dengan membandingkan *coefficient of power*, *coefficient of moment*, *coefficient of drag*, *coefficient of lift*, dan *pressure and velocity contour* pada *conventional turbine* dan *dimpled turbine* untuk memvalidasi hasil eksperimental dari penelitian rujukan. Melalui simulasi numerik, penambahan *dimple* belum dapat membuat performa turbin Savonius meningkat dan mengalami penurunan performa hingga 19% dibandingkan dengan turbin Savonius tanpa adanya penambahan *dimple*. Sementara itu, perhitungan numerik yang telah dilakukan dengan demikian belum dapat dinyatakan valid karena turbin dengan *dimple* menunjukkan presentase selisih yang mencapai 20% dan telah melebihi *uncertainty value*, yakni 5,3%. Hal ini disebabkan oleh *meshing* yang belum efisien dan studi *input solver* yang kurang dalam.

Keywords : Aerodinamika, Dimple, Turbin Angin Savonius.

1. PENDAHULUAN

Ketahanan energi masa depan merupakan isu global yang menjadi perhatian dunia. *International Energy Agency* (IEA) mengungkapkan tuntutan energi dunia meningkat sebesar 45% sampai tahun 2030 dan sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut disuplai dari fosil. Namun, kenyataannya terjadi kesenjangan kuantitas antara ketersediaan energi dan kebutuhan sehingga sangat penting dilakukan transisi energi. Salah satu sumber kekayaan energi terbarukan yang melimpah di Indonesia adalah energi angin. Angin merupakan sumber energi yang berlimpah dan ramah lingkungan. Hesty [1] mengatakan Indonesia memiliki kecepatan angin dengan rata-rata 6-8 m/s sehingga potensi angin yang dimiliki cukup tinggi. Dengan demikian, tipe turbin angin Savonius sangat tepat digunakan karena mampu berputar meskipun kecepatan angin yang datang sangat rendah.

Turbin Savonius mampu menghasilkan torsi yang cukup tinggi dan dapat bekerja pada segala arah angin. Namun, performa turbin angin ini kurang efisien dibandingkan turbin lainnya karena besarnya *pressure*

drag pada *returning blade* yang menyebabkan RPM turbin masih rendah [2]. Berbagai upaya dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya modifikasi material rotor, *shaft*, jumlah *blade*, jumlah *stage*, *overlap ratio* [3]. Namun, modifikasi pada kekasaran permukaan (*surface roughness*) turbin belum dilakukan. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah menggunakan *dimple*. *Dimple* merupakan lekukan berbentuk cekung yang terinspirasi dari struktur permukaan bola golf. *Dimple* pada bola golf mampu menunda separasi aliran udara sehingga laju bola lebih cepat [4].

Modifikasi *surface topology* menggunakan *dimple* dilakukan oleh K.K [4] pada turbin angin sumbu horizontal. Airfoil yang digunakan adalah NREL S-Series dengan span $b = 40$ m. Model persamaan k - ω dan *hybrid initialization* digunakan dalam analisis serta 1500 iterasi untuk mencapai konvergensi dengan kecepatan udara yang diberikan sebesar 12 m/s dan kecepatan *rotating blade* $v = 2.2$ rad/s. *Pressure* yang dihasilkan oleh *dimpled turbine* pada *bottom side* lebih rendah dibandingkan *pressure* yang dihasilkan oleh *blade*

tanpa *dimple* sehingga *dimple* efektif mengurangi *pressure* pada bagian tersebut dengan menciptakan turbulensi dan mengurangi *drag*.

Investigasi pengaruh struktur *dimple* pada *blade* juga dilakukan Mishra [5] terhadap performa dan efisiensi turbin angin Savonius. Eksperimen dilakukan menggunakan dua jenis material turbin berbeda, yaitu *plastic polymers* dan PVC, sedangkan *static simulation* dilakukan menggunakan ANSYS 16.2. Model uji eksperimen ditempatkan di depan *wind tunnel* dengan kecepatan udara diukur oleh anemometer sedangkan putaran rotor diukur oleh tachometer. Hasil menunjukkan bahwa performa turbin naik ketika rotor diberikan struktur *dimple*. Selain itu, *wake region* berkurang pada turbin dengan *dimple* dibandingkan turbin konvensional. Dengan demikian, struktur *dimple* memberikan *output power* yang lebih tinggi baik single.

Eksperimen pada turbin konvensional dan *dimple* yang ditambahkan pada *blade* dilakukan oleh Salim [6] dengan tujuan membandingkan RPM, Torsi dan Daya. Metode penelitian dilakukan dengan cara eksperimental menggunakan *wind tunnel* dengan tinggi *blade* turbin $h=77\text{mm}$, diameter *blade* $d=100\text{mm}$, diameter turbin $D=200\text{mm}$, jarak antara *dimple* $s=14^\circ$. *Honeycomb* diletakkan di depan turbin yang diberi poros dan disambungkan ke *torque transducer* untuk mendapatkan data hasil pengujian. Penggunaan *dimple* dapat menyebabkan RPM meningkat sebesar 8%, Torsi sebesar 28%, dan Daya meningkat sebesar 15%. Hal ini membuktikan bahwa terbukti terjadi pengurangan gaya *drag* yang dapat meningkatkan performa aerodinamika turbin angin Savonius.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode simulasi numerik dua dimensi. ANSYS 18.2 digunakan untuk menyelesaikan perhitungan numerik dengan turbulent model $k-\epsilon$ *realizable* dengan *enhanced wall treatment*. Proses simulasi dibagi atas tiga tahap, yaitu Pre-Processing, Processing, dan Post-Processing.

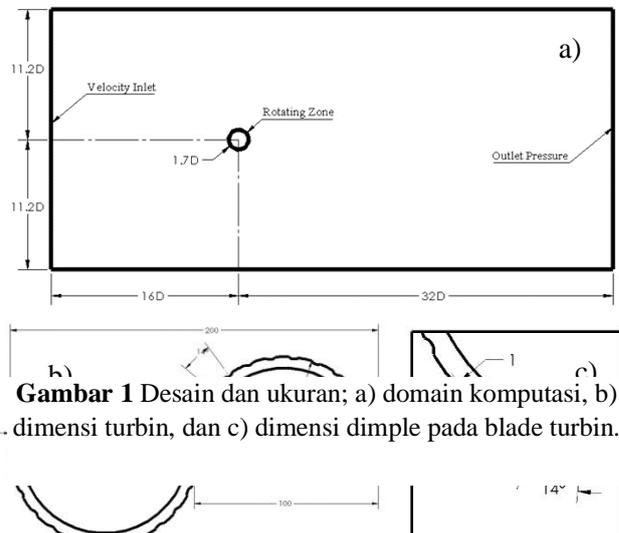
2.1. Domain Simulasi dan Boundary Condition

Ukuran model turbin ditentukan berdasarkan eksperimen Salim. *Dimple* diberikan pada sisi cembung permukaan *blade* dengan diameter *dimple* $(c)=5\text{mm}$, kedalaman cekungan $(k) = 1\text{mm}$, dan jarak antar *dimple* $(s) = 14^\circ$ relatif terhadap titik pusat *blade* turbin. Turbin ditempatkan di dalam ruang yang merepresentasikan tempat pengujian yang disebut domain. Gambar 1 menunjukkan domain komputasi yang ditentukan berdasarkan penelitian Sakti [2]. Ruang ini terbagi atas dua bagian dengan masing-masing terdapat *interface* antar *zone*, yaitu *rotating zone* dan *stationary zone*. Pada

inlet, aliran udara datang dengan kecepatan 5 m/s dan $Re=6.31 \times 10^4$.

2.2. Grid Independence Test

Simulasi menggunakan *software* membutuhkan keakuratan data baik pada tahap Pre-Processing dan Post-



Gambar 1 Desain dan ukuran; a) domain komputasi, b) dimensi turbin, dan c) dimensi dimple pada blade turbin.

Processing. Agar hasil pemodelan mendekati kondisi sebenarnya, tahap uji grid independensi diperlukan untuk mengetahui dan menentukan struktur dan level grid yang paling efisien. Uji tersebut dilakukan untuk mendapatkan *meshing* yang cenderung konstan. *Meshing* dibagi menjadi beberapa jenis dan kemudian dicari nilai terkecil dari masing-masing *meshing* dengan membandingkan grafik C_p numerik [7]. Tabel 1 menunjukkan perbandingan nilai C_p yang dihasilkan dari lima jenis *meshing*. *Meshing* D dipertahankan sebagai acuan simulasi berkelanjutan sesuai dengan kriteria Anderson [8].

Tabel 1 Uji Grid Independence

Meshing	Number of Element	Skewness	C_p
Meshing A	259007	0.89628	0.079987
Meshing B	324574	0.82772	0.080908
Meshing C	373271	0.83401	0.080976
Meshing D	278622	0.75772	0.081135
Meshing E	266433	0.85585	0.081332

2.3. Input Setting

Waktu yang dibutuhkan untuk rotasi turbin 1° didefinisikan sebagai Time Step Size (TSS) yang dihitung dari periode waktu untuk satu kali turbin putaran (T_{rot}) dikalikan dengan jumlah kenaikan derajat sudut (θ) dan dibagi dengan 360°, sesuai pada Sakti [2]. Tabel 2 menunjukkan *time step size* pada beberapa *Tip Speed Ratio* (TSR) $0.4 \leq \lambda \leq 0.9$. *Tip Speed Ratio* adalah perbandingan kecepatan angin dengan kecepatan tip pada blade.

Tabel 2 Time Step Size for certain Tip Speed Ratio

λ	D (m)	V (m/s)	ω (rad/s)	N (rpm)	T_{rot} (s)	TSS (s)
0,4	0,2	5	20,00	190,986	0,314	0,000873
0,5	0,2	5	25,00	238,732	0,251	0,000698
0,6	0,2	5	30,00	286,479	0,209	0,000582
0,7	0,2	5	35,00	334,225	0,180	0,000499
0,8	0,2	5	40,00	381,972	0,157	0,000436
0,9	0,2	5	45,00	429,718	0,140	0,000388

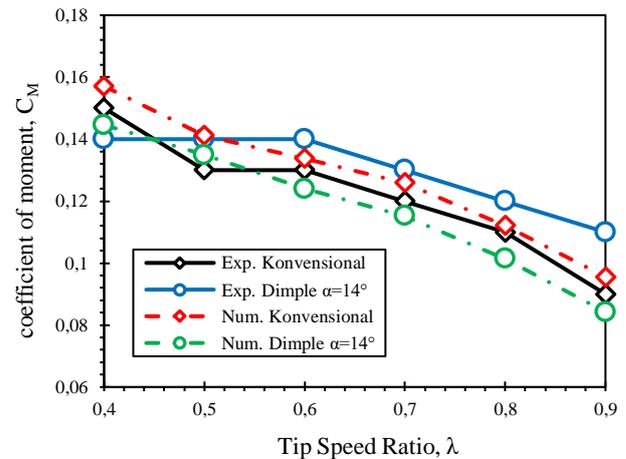
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik ditampilkan dengan data performa turbin angin Savonius konvensional (tanpa *dimple*) yang bertujuan untuk mengetahui performa awal dari turbin Savonius dan selanjutnya diberikan variasi berupa penambahan *dimple* pada *returning blade surface*. Data dibandingkan sebagai tahap validasi dengan data yang diperoleh pada studi eksperimen oleh Salim [6] dalam bentuk bilangan non-dimensional *coefficient of power* (C_p), *coefficient of moment* (C_M), *coefficient of lift* (C_L), dan *coefficient of drag* (C_D) serta visualisasi *pressure and velocity contour*.

3.1. Coefficient of Moment

Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan *coefficient of moment* sebagai fungsi dari *Tip Speed Ratio* (TSR) antara turbin konvensional dan dengan penambahan *dimple* pada *returning blade surface*. *Coefficient of moment* mengalami penurunan seiring dengan naiknya TSR. Pengaruh *dimple* terhadap performa turbin belum dapat dikatakan efektif karena terjadi penurunan performa tertinggi sebesar 11,8% setelah permukaan *blade* turbin diberikan *dimple*. Selain itu, hasil eksperimen berbanding terbalik dengan hasil numerik. Turbin Savonius konvensional numerik memiliki nilai C_M yang lebih tinggi daripada turbin yang diberikan *dimple* dengan selisih terbesar terjadi pada TSR 0.9 sebesar 23,45%. Dengan demikian, hasil numerik untuk *coefficient of moment* (C_M) tidak mempunyai kesepakatan yang kuat dari data eksperimen [6] sehingga

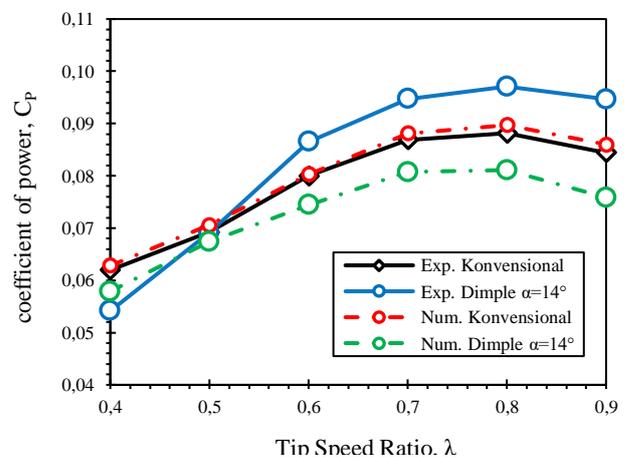
tidak dapat dinyatakan valid untuk karena melebihi *uncertainty value*, yaitu 5,3% [2].



Gambar 2 Moment coefficient pada Tip Speed Ratio (TSR) $0,4 \leq \lambda \leq 0,9$

3.2. Coefficient of Power

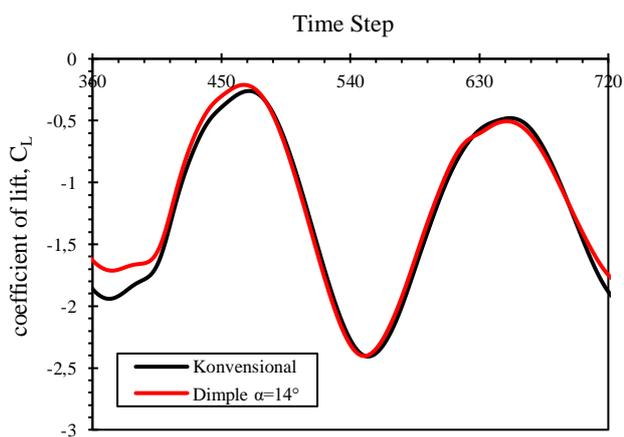
Gambar 4.2 menunjukkan grafik perbandingan *coefficient of power* sebagai fungsi dari *Tip Speed Ratio* (TSR) antara turbin konvensional dan dengan penambahan *dimple* pada *returning blade surface*. *Coefficient of power* mengalami penurunan seiring dengan naiknya TSR. Pengaruh *dimple* terhadap performa turbin belum dapat dikatakan efektif karena terjadi penurunan performa tertinggi sebesar 19,7% setelah permukaan *blade* turbin diberikan *dimple*. Selain itu, hasil eksperimen berbanding terbalik dengan hasil numerik. Turbin Savonius konvensional numerik memiliki nilai C_p yang lebih tinggi daripada turbin yang diberikan *dimple* dengan selisih terbesar terjadi pada TSR 0.9 sebesar 19,92%. Dengan demikian, hasil numerik untuk *coefficient of power* (C_p) tidak mempunyai kesepakatan yang kuat dari data eksperimen sehingga tidak dapat dinyatakan valid untuk meningkatkan performa turbin angin Savonius.



Gambar 3 Power coefficient pada Tip Speed Ratio (TSR) $0,4 \leq \lambda \leq 0,9$

3.3. Coefficient of Lift

Analisa *coefficient of lift* (C_L) dilakukan pada *Tip Speed Ratio* terjadinya *coefficient of power* maksimum (CP_{max}) dalam satu putaran turbin. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan turbin angin dalam kinerjanya. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan *coefficient of lift* (C_L) terhadap *time step* antara turbin Savonius konvensional dan turbin dengan penambahan *dimple* pada *returning blade surface*. *Coefficient of lift* (C_L) mengalami fluktuasi dalam satu putaran, yaitu 360-720. Perbedaan grafik yang signifikan hanya terjadi pada rentang *timestep* 360 hingga 400. Turbin Savonius konvensional memiliki grafik *lift* yang lebih tinggi dibandingkan turbin dengan penambahan *dimple*. Hal ini membuktikan turbin Savonius konvensional lebih stabil daripada turbin dengan *dimple* sehingga *coefficient of power* (C_P) yang dihasilkan lebih tinggi. Analisa *coefficient of lift* (C_L) dilakukan pada *Tip Speed Ratio* terjadinya *coefficient of power* maksimum (CP_{max}) dalam satu putaran turbin. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan turbin angin dalam kinerjanya. Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan *coefficient of lift* (C_L) terhadap *time step* antara turbin Savonius konvensional dan turbin dengan penambahan *dimple* pada *returning blade surface*. *Coefficient of lift* (C_L) mengalami fluktuasi dalam satu putaran, yaitu 360-720. Perbedaan grafik yang signifikan hanya terjadi pada rentang *timestep* 360 hingga 400. Turbin Savonius konvensional memiliki grafik *lift* yang lebih tinggi dibandingkan turbin dengan penambahan *dimple*. Hal ini membuktikan turbin Savonius konvensional lebih stabil daripada turbin dengan *dimple* sehingga *coefficient of power* (C_P) yang dihasilkan lebih tinggi.

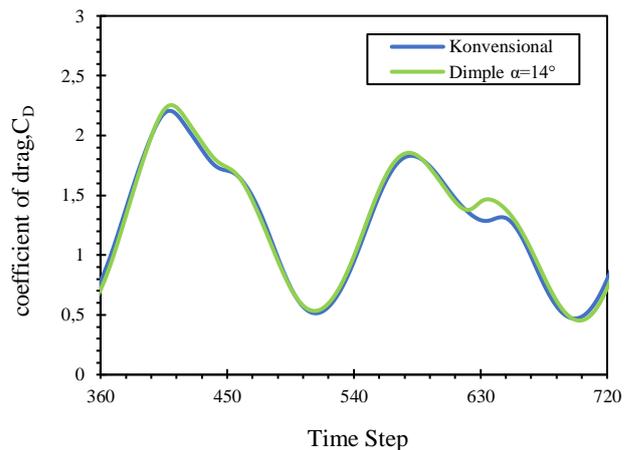


Gambar 5 *Lift coefficient* pada satu putaran turbin.

3.4. Coefficient of Drag

Analisa *coefficient of drag* (C_D) dilakukan pada *Tip Speed Ratio* terjadinya *coefficient of power* maksimum dalam satu putaran turbin. Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan *coefficient of drag* (C_D) terhadap *time step* antara turbin angin Savonius dengan dan tanpa adanya

dimple pada *returning blade surface*. Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa, *coefficient of drag* (C_D) mengalami fluktuasi dalam satu putaran, yaitu 360-720. Perbedaan grafik yang signifikan hanya terjadi pada rentang *timestep* 620 hingga 660. Selanjutnya, kembali terjadi perbedaan grafik *coefficient of drag* yang besar pada *timestep* 540 hingga 660. Turbin Savonius konvensional memiliki grafik *drag* yang lebih rendah dibandingkan turbin dengan penambahan *dimple*. Hal ini membuktikan penambahan *dimple* tidak dapat meningkatkan performa karena *drag* yang dihasilkan lebih besar daripada turbin konvensional.

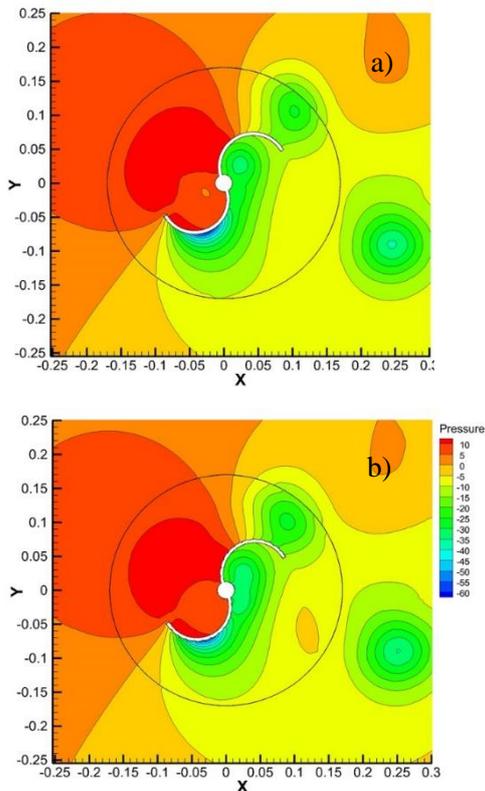


Gambar 4 *Drag coefficient* pada satu putaran turbin.

3.5. Static Pressure Contour

Gambar 4.6 menunjukkan *static pressure* contour antara turbin Savonius konvensional dan turbin dengan penambahan *dimple* 14° pada posisi sudut 30°. Warna merah pada kontur menandakan *pressure* yang bernilai positif, sedangkan warna biru menandakan *pressure* yang bernilai negatif. Pada gambar 4.6a, *advancing blade* adalah *blade* yang berada di bagian bawah *shaft* sedangkan *returning blade* berada di bagian atas. Ketika angin datang dari sisi kanan dan menerpa bagian *advancing blade*, *pressure* di sisi cekung *blade* berwarna merah dan di sisi cembung berwarna biru. Artinya, terjadi perbedaan *pressure* antara bagian depan dan belakang *blade* sehingga menghasilkan *drag* positif karena memutar turbin sesuai arah putarannya. Sementara itu, pada bagian *returning blade*, *pressure* berwarna merah hanya di sebagian sisi cembung *blade* dan di sisi cekung *pressure* berwarna hijau. Oleh karena itu, *returning blade* menghasilkan *drag* negatif karena berlawanan dari arah putaran turbin sehingga bersifat merugikan. Setelah ditambahkan *dimple*, pada gambar 4.6b hampir tidak terjadi perubahan signifikan pada kontur. Di daerah *upstream*, luasan warna merah lebih kecil dibandingkan turbin konvensional. Namun, terjadi perubahan di *wake region*. Di sisi cembung *returning blade*, luasan warna hijau dengan kisaran *pressure* -20 lebih besar

dibandingkan turbin konvensional. Hal ini membuktikan terjadi sedikit penurunan *pressure* sehingga menyebabkan *coefficient of power* (C_p) lebih rendah daripada turbin konvensional. Dengan demikian, secara numerik *static pressure* contour sepakat dengan hasil *Coefficient of power* (C_p) yang turun.

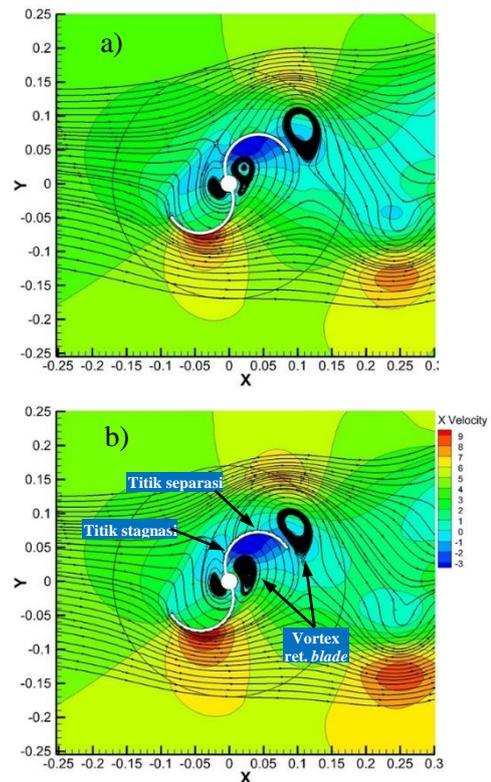


Gambar 7 Distribusi *static pressure* contour pada posisi sudut 30°.

3.6. Velocity Contour

Gambar 4.7 menunjukkan *velocity contour* antara turbin Savonius konvensional dan turbin dengan penambahan *dimple* 14° pada posisi 30°. Garis-garis dengan panah pada gambar merupakan *streamline* aliran udara. Nilai positif dan negatif pada *contour legend* menyatakan arah aliran udara. Nilai positif menunjukkan arah aliran ke kanan sedangkan nilai negatif menunjukkan aliran balik (*backflow*). Luasan merah pada kontur menandakan terjadi peningkatan kecepatan aliran udara sedangkan luasan hijau menggambarkan kecepatan aliran normal sesuai dengan kecepatan udara yang telah ditentukan, yakni 5 m/s. Pada posisi sudut 30°, titik stagnasi terjadi pada permukaan *returning blade* dekat dengan *shaft* turbin. Aliran udara kemudian terlepas dari permukaan membentuk daerah *vortex*. Setelah ditambahkan *dimple*, *vortex* yang dihasilkan lebih kecil daripada turbin konvensional. Hal ini membuktikan terjadi sedikit penurunan *pressure* sehingga menyebabkan *coefficient of power* (C_p) lebih rendah

daripada turbin konvensional. Dengan demikian, secara numerik *velocity contour* sepakat dengan hasil *coefficient*



Gambar 6 Distribusi *velocity contour* pada posisi sudut 30°.

of power yang turun

4. KESIMPULAN

Returning blade turbin angin Savonius memberikan torsi negatif akibat gaya *pressure drag* yang timbul dari angin berlawanan. Besarnya *pressure drag* tersebut menyebabkan performa turbin relatif masih rendah. Dengan demikian, perhitungan numerik penambahan *dimple* pada *returning blade surface* diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Performa turbin Savonius belum dapat meningkat dan mengalami penurunan performa hingga 19% dibandingkan dengan turbin Savonius tanpa adanya penambahan *dimple*.
2. Prosedur perhitungan numerik yang telah dilakukan dengan demikian belum dapat dinyatakan valid karena turbin dengan *dimple* menunjukkan presentase selisih yang mencapai 20% sehingga melebihi *uncertainty value*, yakni 5,3%. Hal ini disebabkan oleh *meshing* yang belum efisien dan studi *input solver* yang kurang dalam.

REFERENSI

- [1] N. W. Hesty, D. G. Cendrawati, Aminuddin, B. Pranoto, S. R. Fithri, and A. Fahim, "Estimasi Potensi Energi Angin Indonesia Menggunakan Model Weather Research and Forecast - Four Dimension Data Assimilation," *Jurnal Sains Dirgantara*, vol. 19, no. 2, pp. 11–20, 2022, doi: 10.30536/j.jsd.2022.v19.a3614.
- [2] G. Sakti, T. Yuwono, and W. A. Widodo, "Experimental and numerical investigation of I-65-type cylinder effect on the savonius wind turbine performance," *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, vol. 19, no. 5, 2019.
- [3] E. M. Masramon, P. J. G. Montero, and R. C. Lopez, "Experimental Study Of Flow Through A Savonius Wind Turbine," Barcelona, 2015.
- [4] A. K.K, N. V.R, S. V. K. S, and A. R, "Analyzing the Effect of Dimples on Wind Turbine Efficiency Using CFD," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 6, 2018, doi: 10.37622/ijaer/13.6.2018.4484-4489.
- [5] N. Mishra, A. Jain, A. Nair, B. Khanna, and S. Mitra, "Numerical and Experimental Investigations on a Dimpled Savonius Vertical Axis Wind Turbine," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 10, no. 2, pp. 646–653, Jun. 2020, doi: 10.20508/ijrer.v10i2.10566.g7935.
- [6] M. A. Salim, "Studi Eksperimen Upaya Pengurangan Gaya Drag Pada Turbin Angin Sumbu Tegak Untuk Meningkatkan Performa Aerodinamika," *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP)*, 2022.
- [7] S. Yusuf, S. Hariyadi, and N. Pambudiyatno, "Numerical Simulation of Effect Modification of Single Slotted Flap on Wing Cessna C208B Grand Caravan for Aerodynamic Performance," in *Proceedings of the International Conference on Advance Transportation, Engineering, and Applied Science (ICATEAS 2022)*, 2023. doi: 10.2991/978-94-6463-092-3_2.