

Pengembangan Model Turbin Savonius sebagai komponen Portable Water Turbine Generator

Burniadi Moballa¹, George Endri Kusuma², Hafidh A Santoso³, Yusuf Aryasa⁴, Sryang Tera Sarena⁵, Ryan Yudha Aditya⁶, Yudho A Subekti⁷, Angga A Purnawan⁸, Vivi Rahmania⁹, Danis Maulana¹⁰
Jurusan Teknik Permesinan Kapal^{1,2,3,4}, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal^{5,6,7,8,9}, Jurusan Teknik Bangunan Kapal¹⁰
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia
email : bmoballa@ppns.ac.id

Abstract—Indonesia memiliki banyak sungai dengan potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro/Piko Hidro (PLTMH). Namun besarnya potensi tersebut belum diikuti oleh pengoptimalan aplikasinya. Kendala utama besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pembangunan struktur sipil sebuah PLTMH memberikan dampak rendahnya tingkat penggunaannya di daerah-daerah terpencil yang sulit dicapai oleh akses pemerintah. Untuk memberikan solusi masalah tersebut pada penelitian ini dilakukan pengembangan turbin untuk Portable Water Turbine Generator yang memiliki kelebihan desain mudah dibawa dan diinstall di sungai yang sesuai di daerah yang membutuhkan unit pembangkit listrik tanpa melalui proses panjang dan lama untuk pembangunan struktur sipil dan sistem drainase airnya. Penelitian awal sudah dirintis Prototipe Underwater Turbine Generator sebagai Komponen Microgrid namun daya listrik keluaran dari alat tersebut masih sangat rendah, yaitu kurang dari 3 Watt. Pada penelitian lanjutan ini dilakukan pengembangan pada teknologi mekaniknya yaitu desain turbin untuk mendapatkan konversi daya mekanik menjadi daya elektrik yang lebih besar dan optimal. Model turbin savonius dipilih untuk mendapat gerakan memutar vertical sesuai dengan posisi generator yang diletakkan diatas permukaan air sehingga dapat dihasilkan portable water turbine generator dengan tingkat performa yang lebih baik dari penelitian sebelumnya.

Keywords—turbin air Savonius; pembangkit listrik portable; energi terbarukan

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi energi air yang sangat besar, lebih dari 90.000 MW. Namun demikian kapasitas terpasang yang ada sangat kecil, hanya sekitar 5% dari potensi tersebut [1]. Teknologi konvensional pembangkit tenaga air menggunakan penampung atau reservoir yang berada pada ketinggian dan turbin yang dipasang pada elevasi yang lebih rendah. Kelebihan dari konsep ini adalah produksi head yang tinggi sehingga keluaran daya menjadi lebih optimal. Namun demikian konsep ini tidak selalu dapat diaplikasikan pada sumber-sumber energi air yang ada.

Terdapat dua permasalahan dasar. Permasalahan pertama adalah kontur geografis yang tidak memungkinkan dibangunnya penampung atau reservoir pada ketinggian karena aliran air yang akan dimanfaatkan dan lokasi pengguna

berada pada elevasi yang rendah atau beda elevasi keduanya kecil. Kedua, biaya pembangunan struktur sipil penampung dan penyalur (*penstock*) yang cukup besar. Oleh karena itu, diperlukan teknologi konversi energi yang mampu membangkitkan energi dari aliran air bebas (*free stream of water*) tanpa struktur sipil.

Alternatif teknologi di atas dapat diperoleh dengan cara mengadopsi teknologi konversi energi aliran bebas yang sudah mapan yaitu teknologi turbin angin untuk diaplikasikan ke aliran air. Di antara berbagai tipe rotor turbin angin, rotor Savonius memiliki keunggulan berupa kesederhanaan konstruksi yang cocok dengan aplikasi skala pikohidro yang merupakan tujuan dari penelitian ini. Rotor Savonius adalah rotor berbentuk huruf “S” dan bergerak karena *drag* yang diberikan oleh aliran fluida. Namun demikian, rotor Savonius memiliki kelemahan, sesuai dengan teori Betz, yaitu koefisien daya dan rasio kecepatan ujung (*tip speed ratio*) yang relatif rendah dibandingkan dengan rotor tipe lain, fluktuasi torsi, dan efisiensi rendah.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari konfigurasi optimal berbagai parameter desain rotor Savonius yang meliputi: *aspect ratio*, rasio *gap* dan *overlap*, jumlah sudu, profil sudu, dan sudut sudu pada aplikasi hidrokinetik. *Aspect ratio* adalah rasio antara diameter rotor dengan tinggi atau panjang rotor. Berbagai studi yang mengaji efek *aspect ratio* terhadap koefisien daya dan efisiensi belum mengerucut ke satu nilai yang optimal karena parameter lainnya tidak seragam sehingga efek dari berbagai parameter tersebut mempengaruhi hasil penelitian. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *aspect ratio*, koefisien daya semakin besar. Untuk rotor dengan satu tingkat dan dua sudu, nilai optimal *aspect ratio* berada pada jangkauan 0.7-1.17 [2].

Penambahan pelat penutup (*end plate*) diujung sudu juga berpengaruh terhadap koefisien daya dan efisiensi. Adanya pelat penutup mencegah kebocoran aliran keluar sudu pada pelat cekung sehingga beda tekanan antara sisi cekung dan cembung dapat dipertahankan. Dari berbagai studi tentang penambahan pelat penutup, diperoleh bahwa penambahan pelat penutup dapat meningkatkan koefisien daya hingga 36%. Geometri pelat penutup yang paling optimal adalah pelat penutup lingkaran dengan rasio diameter pelat penutup dengan diameter rotor sebesar 1.1 [2].

Jumlah sudu dan jumlah tingkat memiliki efek yang penting terhadap kinerja rotor Savonius. Momen yang dihasilkan oleh rotor Savonius berfluktuasi terhadap sudut rotor. Penambahan jumlah sudu dapat mengurangi fluktuasi ini. Namun penambahan sudu yang terlalu banyak dapat mengubah pola aliran dan justru mengurangi koefisien daya. Berbagai studi tentang jumlah sudu dengan profil berbeda menemukan bahwa ketika jumlah sudu ditingkatkan di atas 2, koefisien daya turun [2]. Fluktuasi torsi dapat juga dikurangi dengan menambah jumlah tingkat. Berbagai studi menunjukkan bahwa jumlah tingkat yang optimal adalah dua tingkat. Pembagian tingkat menjadi tiga tingkat menyebabkan penurunan koefisien daya akibat menurunnya *aspect ratio* dan meningkatnya inersia [2].

Secara umum, sudu rotor Savonius dapat didesain tidak segaris sehingga terdapat gap antar sudu. Dua sudu yang tidak segaris dapat diperpanjang di daerah center sehingga memiliki overlap. Penambahan gap dan overlap pada awalnya dilakukan untuk menambah kinerja [2]. Namun demikian, studi eksperimental dengan rotor yang dimodifikasi menunjukkan bahwa kinerja lebih baik dicapai jika rasio gap dan overlap dibuat sama dengan nol [3].

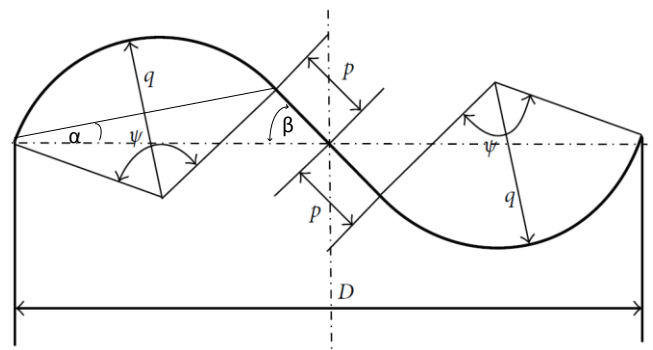
Profil sudu sangat berpengaruh terhadap kinerja rotor Savonius. Variasi profil sudu sangat banyak. Berbagai penelitian terdahulu berfokus pada efek puntiran sudu terhadap kinerja. Secara umum, sudu yang dipuntir memiliki koefisien daya lebih besar dibandingkan dengan sudu semi sirkular [2]. Namun demikian sudu punter memiliki konstruksi yang lebih rumit. Modifikasi pada profil semisirkular dengan menggeser pusat lingkaran sudu dan memperpanjang sudu dengan pelat lurus dapat meningkatkan kinerja [3]. Kamoji *et al.* menemukan bahwa sudut sudu paling optimum untuk rotor modifikasi tersebut adalah 124° dengan faktor bentuk 0.2 pada rasio gap dan overlap 0.0.

Penelitian-penelitian terdahulu di atas, dilakukan dengan menganggap turbin tercelup sempurna dan efek permukaan fluida dapat diabaikan. Belum ada studi yang mengaji efek gravitasi dan permukaan bebas air terhadap kinerja rotor Savonius. Efek gravitasi dan permukaan bebas signifikan untuk aplikasi skala pikohidro di sungai-sungai atau saluran air kecil dan dangkal. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan prototipe turbin air Savonius dengan rotor modifikasi. Pengujian eksperimental dan kajian numerik dilakukan untuk mengevaluasi kinerja rotor pada aliran dangkal di mana efek gaya gravitasi dan permukaan air signifikan.

II. METODOLOGI

A. Pemilihan model

Pada penelitian ini, dipilih model rotor Savonius satu tingkat dengan sudu modifikasi tanpa gap dan overlap dengan pelat penutup di kedua ujung sudu. Sketsa rotor modifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema rotor Savonius modifikasi [4]. Parameter-parameter di dalam gambar memiliki arti sebagai berikut: D adalah diameter rotor, q adalah radius sudu, p adalah jarak tepi blad ke sumbu rotor, ψ adalah sudut rotor, β adalah sudut rotor terhadap sumbu.

Jika sudut rotor (ψ), diameter rotor (D), dan rasio p/q dipilih, maka besar radius rotor (q), jarak ke sumbu (p), dan sudut α , β dapat ditentukan sebagai berikut,

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0.2 \sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}{2 \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) + 0.2 \cos\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right)$$

$$\beta = \frac{\psi}{2} - \alpha$$

$$q = \frac{\frac{D}{2}}{2 \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \cos(\alpha) + 0.2 \cos \beta}$$

B. Pengembangan prototipe dan pengujian eksperimental

Pada penelitian ini dipilih sudut rotor sama dengan 124° , $p/q = 0.2$, dan diameter sebesar 300 mm. Dengan demikian diperoleh $q = 80$ mm, $p = 16$ mm, dan $\beta = 56,6^\circ$. Bahan rotor dibuat dari pelat stainless steel dengan sumbu rotor vertikal. Transmisi menggunakan puli dan sabuk. Hasil fabrikasi rotor dan turbin yang sudah dirakit dapat dilihat pada.

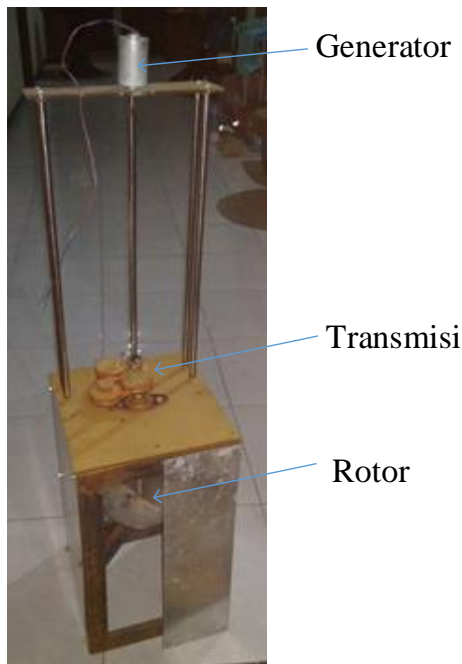
C. Kajian numerik

Model numerik disusun untuk memprediksi pengaruh berbagai aspek geometri terhadap kinerja sistem. Simulasi dilakukan pada kondisi aliran turbulen dengan $Re = 1.25 \cdot 10^6$. Pemodelan turbulen yang digunakan adalah $k-\omega$ SST. Aliran fluida dianggap sebagai aliran dua fasa dengan air sebagai fasa utama dan udara sebagai fasa sekunder. Model multifasa yang digunakan adalah *Volume of Fluid* (VOF).

Putaran rotor dihitung dengan menyelesaikan persamaan gerak benda padat. Torsi yang menggerakkan rotor dihitung dari gaya-gaya hidrodinamik aliran. Untuk mensimulasikan putaran rotor digunakan teknik *sliding mesh*.

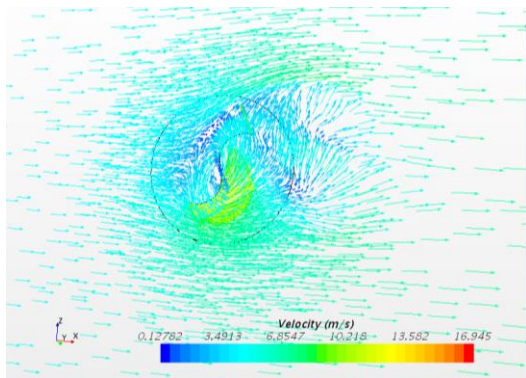
Karena posisi poros turbin vertikal sedangkan posisi permukaan bebas (*free surface*) horizontal, pemodelan tidak bisa direduksi menjadi model 2 dimensi. Pada penelitian ini

model numerik dibuat 3 dimensi. Hal ini menyebabkan jumlah mesh yang dibutuhkan menjadi banyak. Untuk mengurangi jumlah mesh digunakan tipe mesh *polyhedral*.



Gambar 2 Prototipe turbin portable.

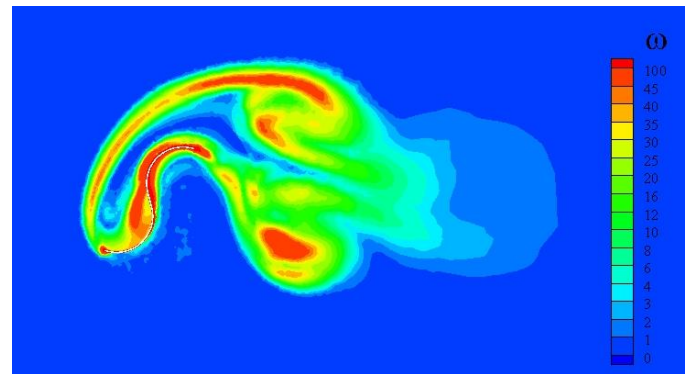
III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3 Vektor kecepatan di sekitar rotor pada sudut 220°.

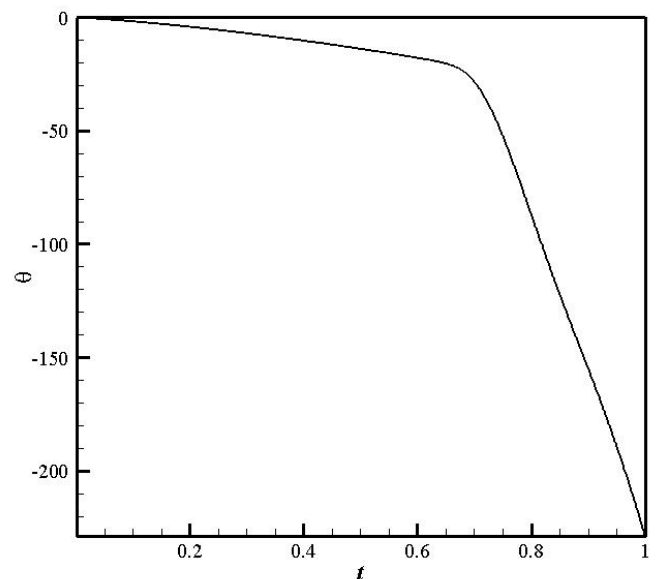
Gambar 3 menunjukkan vector kecepatan di sekitar rotor pada sudut 220°. Sudu yang tampak cembung dari arah kiri gambar disebut sebagai sudu mundur (*returning blade*), sedangkan sudu yang tampak cekung dari arah kiri gambar disebut sebagai sudu maju (*advancing blade*). Pada gambar tersebut terlihat bahwa fluida yang berada di depan sudu maju memiliki kecepatan lebih tinggi di banding fluida yang berada di depan sudu maju. Hal ini mengindikasikan perbedaan gaya hidrodinamika yang terjadi di sekitar kedua sudu. Fluida yang ada di depan sudu maju membentuk pusaran (*vortex*). Pusaran ini tampak lebih jelas di Gambar 4 yang menunjukkan magnitudo vortisitas. Akibat adanya pusaran tersebut ditambah dengan gerakan sudu mundur, fluida yang mengalir dari *free stream* mengalami percabangan. Sebagian fluida

mengalir ke atas *returning blade* dan sebagian fluida mengalir ke bawah *advancing blade*.



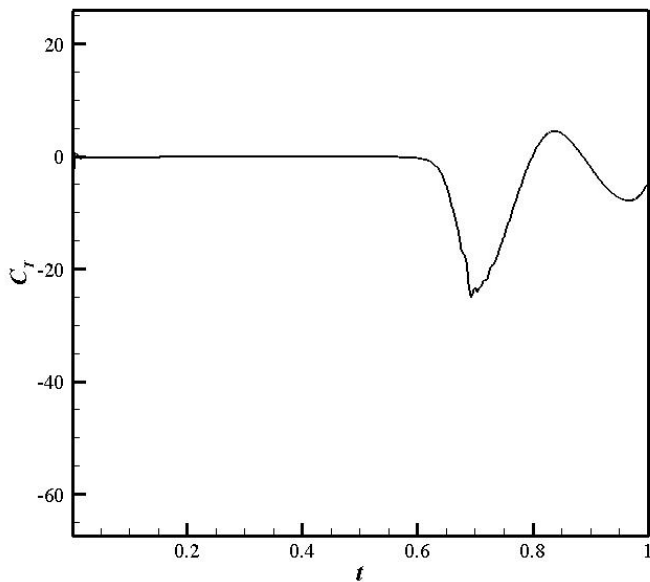
Gambar 4 Magnitudo vortisitas di sekitar rotor pada sudut 220°.

Dari Gambar 4, terlihat bahwa akibat putaran rotor terjadi pelepasan pusaran (*vortex shedding*) baik dari sudu maju maupun dari sudu mundur. Hal yang menarik untuk diamati, pusaran yang lepas dari sudu maju tampak tertarik akibat gerakan sudu maju. Tarikan pusaran (*vortex stretching*) ini tidak tampak pada pusaran yang lepas dari sudu mundur.



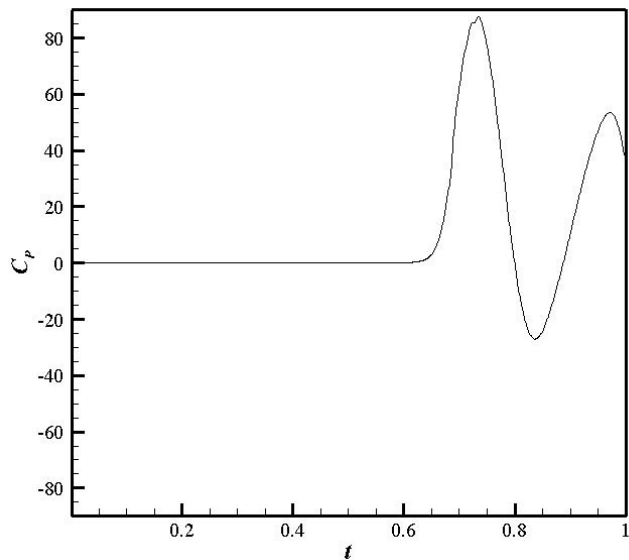
Gambar 5 Sudut rotor terhadap sumbu vertikal untuk $t = 0 - 1$.

Perubahan sudut rotor terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 5. Gradient kurva pada Gambar 5 tampak landai hingga $t = 0.7$. Setelah itu, kurva turun dengan tajam. Hal ini menunjukkan adanya kenaikan kecepatan sudut setelah $t = 0.7$. Hal ini terkonfirmasi oleh kurva koefisien torsi terhadap waktu yang ditampilkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 terlihat bahwa magnitudo koefisien torsi yang dihasilkan oleh rotor Savonius tidak seragam melainkan berosilasi terhadap waktu tergantung pada posisi rotor.



Gambar 6 Koefisienn torsi untuk $t = 0 - 1$.

Akibat osilasi koefisien torsi, koefisien daya juga mengalami osilasi. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7. Osilasi koefisien daya menunjukkan bahwa daya yang diproduksi oleh rotor savonius tidak stabil.



Gambar 7 Koefisien daya untuk $t = 0 - 1$.

IV. KESIMPULAN DAN PENELITIAN LANJUTAN

Prototipe pembangkit listrik portable pikohidro dengan rotor Savonius telah dibuat dengan mengikuti spesifikasi konfigurasi optimal yang diperoleh dari studi literature. Studi numerik menunjukkan bahwa torsi dan daya yang dihasilkan oleh rotor Savonius berhasil terhadap waktu.

Langkah selanjutnya dari penelitian ini adalah melakukan pengujian lapangan prototype yang telah dibuat. Dari sisi konseptual, akan dilakukan studi numerik untuk mencari konfigurasi yang dapat mengurangi osilasi ini dan meningkatkan nilai efektif koefisien torsi dan daya.

Acknowledgment

Para penulis menyampaikan rasa terima kasih atas dukungan dari Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya melalui hibah penelitian internal PPNS.

References

- [1] Dewan Energi Nasional, Indonesia Energy Outlook 2016., Jakarta: Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2016.
- [2] R. S. Anuj Kumar, "Performance parameters of Savonius type hydrokinetic turbine – A Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, pp. 289-310, 2016.
- [3] S. K. d. S. P. M.A. Kamoji, "Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor," *Applied Energy*, vol. 86, no. 7-8, pp. 1064-1073, 2009.
- [4] G. Kailash, T. Eldho and S. Prabhu, "Performance Study of Modified Savonius Water Turbine with Two Deflector Plates," *International Journal of Rotating Machinery*, vol. 2012, pp. 1-12, 2012.