

Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

Marcellinus Gonzaga¹⁾, Argamanda²⁾, Listriyanto³⁾, Sari Wulandari Hafsari⁴⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Perminyakan, Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta,

^{3,4)} Dosen Fakultas Teknik Universitas Proklamasi 45 Yogyakarta

Corresponding author email: gozasiwy@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian awal berjudul “Pemanfaatan Energi Angin dari Laju Kendaraan Berbasis Kincir Vertikal sebagai Penghasil Listrik untuk Penerangan Lampu Jalan”. Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian pengembangan dan pembaharuan baik dari segi penentuan daerah potensial maupun segi desain konstruksi *hybrid va (vertical axis) wind turbine*. Pembaharuan dan pengembangan dilakukan guna meningkatkan kesiapan implementasi *hybrid va wind turbine* di seluruh daerah efektif di Indonesia. Pada penelitian sebelumnya kelengkungan atau radius kincir belum dapat diketahui. Untuk mencari tahu kelengkungan kincir dengan efektivitas rotasi tertinggi maka dilakukan perancangan miniatur kincir vertikal dengan rasio 1:5 terhadap ukuran kincir sumbu vertikal reguler sesungguhnya. Peningkatan desain dengan memperhatikan aspek keselamatan pengguna jalan yang melintas sangat perlu dilakukan. Penggunaan material atau bahan yang dapat merefleksikan cahaya dari lampu kendaraan pada malam hari yang dilekatkan di konstruksi *hybrid va wind turbine* merupakan salah satu metode untuk meningkatkan aspek keselamatan. Pengukuran terhadap lebar bagian tengah kedua jalur jalan yang berlawanan arah sebagai lokasi pemasangan *hybrid va wind turbine* juga dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan pengendara. Pemberian toleransi jarak antara bagian sisi terluar kincir dan bagian terluar lajur jalan sangat perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada konstruksi *hybrid va wind turbine* serta demi keselamatan pengendara yang melintas. Pada jalan-jalan dengan lebar bagian tengah antara kedua jalur jalan yang berukuran di bawah 2meter (<2m) tidak dapat diterapkan *hybrid va wind turbine* reguler, sehingga penerapan *hybrid va wind turbine* minimalis merupakan solusi untuk daerah tersebut. Penentuan daerah efektif untuk implementasi pada penelitian ini dilakukan dengan pengukuran terhadap aspek-aspek potensi yang dimiliki oleh jalan di antaranya; rata-rata intensitas kendaraan yang melintas, kecepatan rata-rata kendaraan yang melintas, kecepatan angin rata-rata yang tersedia akibat laju kendaraan yang melintas, lebar bagian tengah antara kedua jalur jalan yang berlawanan arah, kondisi geografis jalan, serta potensi timbulnya kepadatan. Jalan tol Semarang-Solo memiliki total panjang jalan 75,7km dan dalam penelitian ini telah dipilih 3 titik awal yang diprediksi dan diukur aspek-aspek kelayakannya untuk dilakukan implementasi *hybrid va wind turbine* pada daerah tersebut.

Kata kunci: *Hybrid va wind turbine, Peningkatan desain, Aspek keselamatan, Aspek-aspek potensi jalan.*

Abstract

This research is a sequel of the prior research entitled “Pemanfaatan Energi Angin dari Laju Kendaraan Berbasis Kincir Vertikal sebagai Penghasil Listrik untuk Penerangan Lampu Jalan”. In this research, development and update have been carried out both in terms of the potential area selection as well as in the design of hybrid va (vertical axis) wind turbine. Renewal and developments are carried out to improve the readiness of hybrid va wind turbine implementation in all effective areas in Indonesia. In the previous research, the bulge value or radius of the blades have not been known. To find out the bulge value of the blades with the highest rotational effectiveness, a miniature of vertical axis blade with a ratio of 1:5 to the actual regular size va blades is carried out. Design improvement by taking into account the safety aspect of road users is necessary. The use of materials that can reflect light from vehicle lights at night attached to the hybrid va wind turbine construction is one of the methods to improve the safety aspect. A width measurement of the middle section between two opposite lane road as the location of the hybrid va wind turbine installment is also carried out by considering the driver’s safety aspect. Giving a distance tolerance between the outer side of the blades and the outer part of the road lane is necessary to prevent damage to the hybrid va wind turbine construction as well as for the driver’s safety. On certain roads with a width of the middle part between the two lanes size less than 2 meters (<2m) regular size hybrid va wind turbine cannot be applied, thus the implementation of the minimalist size hybrid va wind turbine is a solution for the areas. The Effective area determination for the implementation in this research is carried out by measuring the potential aspect possessed by the road including the average intensity of passing vehicle, the average speed of a passing vehicle, the average available wind speed caused by a passing vehicle, the width of the middle section between the two opposite direction road lanes, the geographical conditions of the road, as well as the potency of traffic jam. The Semarang – Solo freeway has a total road length of 75.5km, and in this research 3 initial points have been predicted and the feasibility aspects have been measured for the hybrid va wind turbine’s implementation.

Keyword: *Hybrid va wind turbine, Design improvement, Safety aspect, Road potency aspects.*

Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

I. Pendahuluan

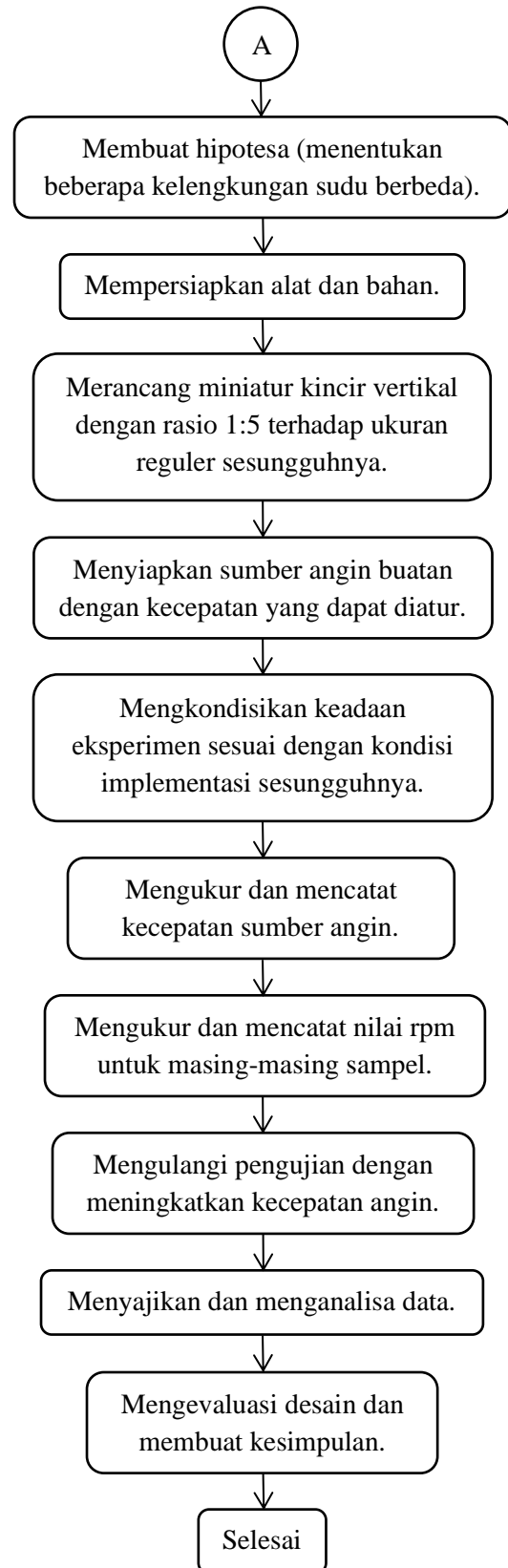
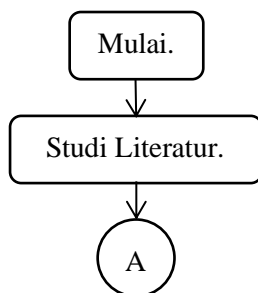
Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian awal berjudul “Pemanfaatan Energi Angin dari Laju Kendaraan Berbasis Kincir Vertikal sebagai Penghasil Listrik untuk Penerangan Lampu Jalan”. Sumber energi kinetik yang ditimbulkan oleh angin akibat laju kendaraan dimanfaatkan dalam penelitian ini sebagai sumber energi yang dapat memutar rangkaian PLTB kincir vertikal atau disebut dalam penelitian ini sebagai *hybrid va (vertical axis) wind turbine* untuk menghasilkan listrik. Letak *hybrid va wind turbine* yang berada di antara dua jalur yang berlawanan arah, memanfaatkan arah angin yang berbeda dari masing-masing jalur untuk menghasilkan putaran secara lebih cepat.

Pada penelitian ini telah dilakukan serangkaian pengembangan dan pembaharuan baik dari segi penentuan daerah potensial maupun segi desain konstruksi *hybrid va wind turbine*. Pada penelitian sebelumnya, sumber data yang digunakan kebanyakan masih bergantung pada asumsi dan pendekatan secara kualitatif. Sehingga besar kemungkinan terdapat ketidakselarasan antara data yang digunakan pada penelitian sebelumnya dengan kondisi sebenarnya. Metode pengumpulan data pada penelitian ini meliputi; pengambilan data lapangan, wawancara, studi literatur, dan eksperimen yang melibatkan perancangan miniatur *hybrid va wind turbine*.

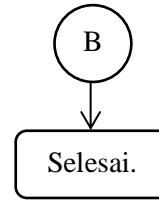
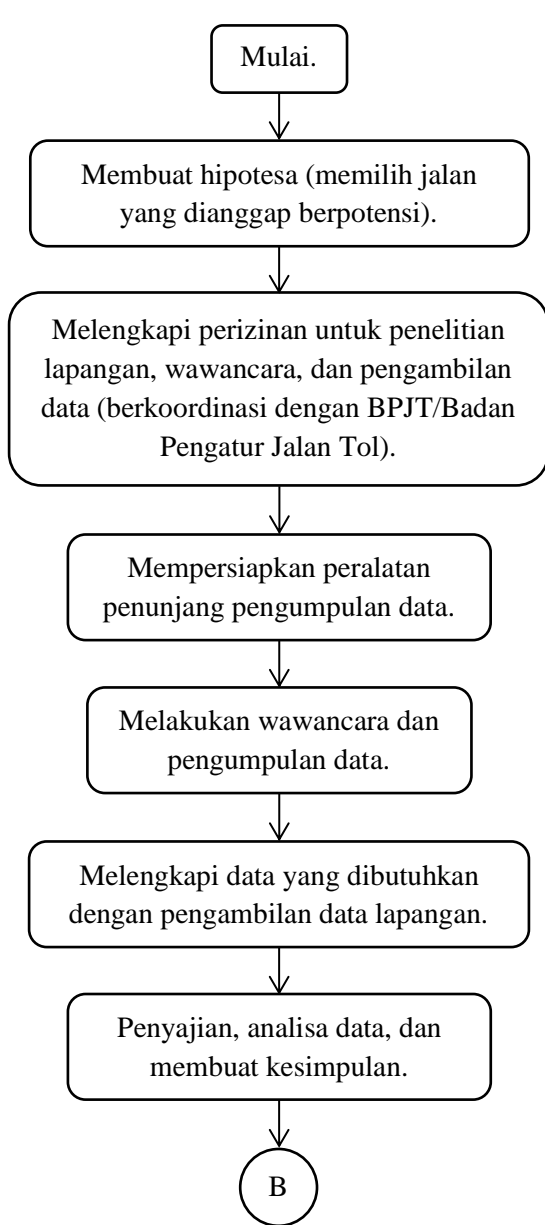
Pembaharuan dan pengembangan dilakukan guna meningkatkan kesiapan implementasi *hybrid va wind turbine* di seluruh daerah efektif di Indonesia. Dengan meningkatnya kesiapan dari segi implementasi *hybrid va wind turbine*, maka inovasi teknologi yang memanfaatkan sumber energi angin dari aktivitas laju kendaraan ini, dapat menjawab persoalan ketahanan energi di Indonesia.

II. Metodologi

Penentuan Efektivitas Kelengkungan Sudu



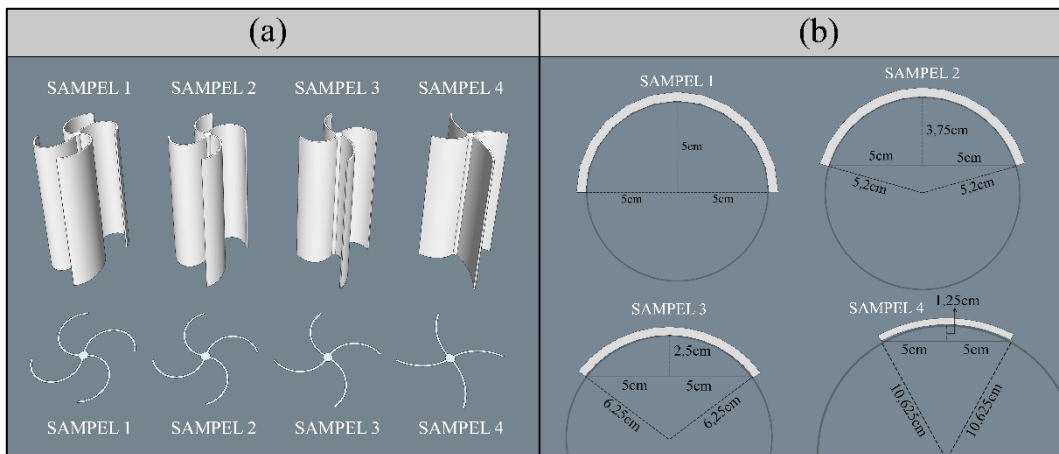
Penentuan Daerah Potensial



III. Hasil dan Pembahasan

Efektivitas Kelengkungan Sudu

Pada penelitian sebelumnya kelengkungan atau radius kincir belum dapat diketahui. Kelengkungan bilah/sudu kincir sangat mempengaruhi pada besarnya RPM (rotasi per menit) yang dihasilkan kincir dan dapat dikorelasikan terhadap efisiensi kincir dalam mengubah energi kinetik angin menjadi putaran. Untuk mencari tahu kelengkungan kincir dengan efektivitas rotasi tertinggi maka dilakukan perancangan miniatur kincir vertikal dengan rasio 1:5 terhadap ukuran kincir vertikal reguler sesungguhnya. Dengan menggunakan desain kincir pada penelitian sebelumnya sebagai ukuran kincir vertikal reguler, maka miniatur kincir yang dibentuk akan memiliki tinggi konstruksi 58cm dan lebar keseluruhan sebesar 23,4cm. Dengan membulatkan ke atas tinggi dan lebar konstruksi miniatur, maka konstruksi kincir yang dirancang memiliki tinggi 60cm dan lebar total konstruksi sebesar 24cm. Dimana masing-masing sudu memiliki lebar sebesar 10cm dan bagian pusat sumbu untuk pelekatan kincir memiliki diameter 2cm. Pada percobaan untuk menentukan efektivitas tertinggi akibat kelengkungan sudu, dipilih 4 sampel dengan kelengkungan sudu berbeda, yang selanjutnya disebut sebagai *bulge*. *Bulge* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5cm, 3,75cm, 2,5cm, dan 1,25cm.

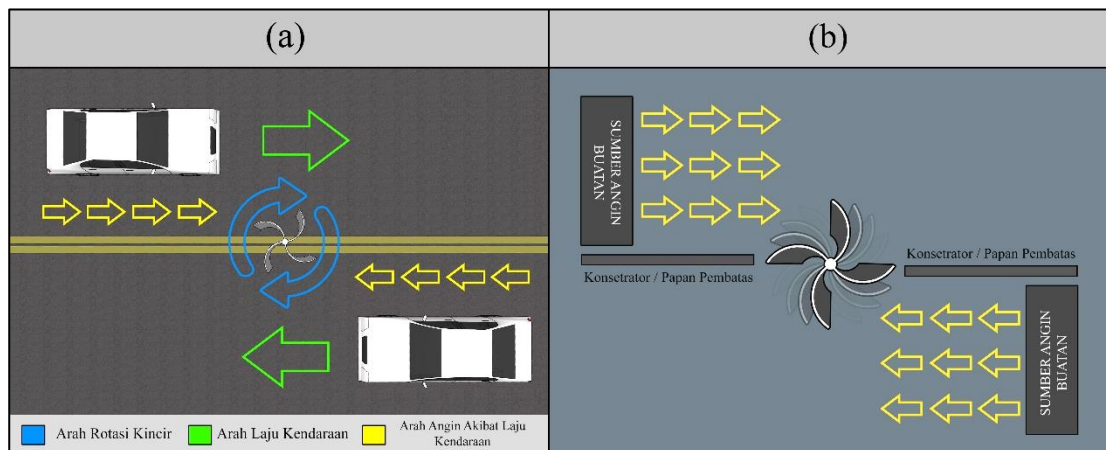


Gambar 1. (a) Ilustrasi Sampel Kincir Vertikal; (b) Ukuran *Bulge* dan Radius Sampel Kincir Vertikal

Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

Perancangan miniatur kincir vertikal dibuat dengan bahan PVC (*polyvinyl chloride*) sesuai dengan pemilihan bahan yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Kondisi pengujian pada

setiap sampel dilakukan sesuai dengan kondisi implementasi sesungguhnya, dimana sumber angin yang digunakan juga berasal dari dua sisi yang berlawanan arah.



Gambar 2. (a) Ilustrasi Kondisi Implementasi *Hybrid VA Wind Turbine*; (b) Ilustrasi Kondisi Pengujian Kincir Vertikal

Sebelum dilakukan pengujian, perlu diketahui terlebih dahulu besar kecepatan dari sumber angin buatan. Peningkatan kecepatan sumber angin kincir vertikal dilakukan guna mengetahui efektivitas kerja kincir terhadap

kecepatan sumber angin yang berubah-ubah. Pengukuran terhadap massa dan luas daerah tangkapan kincir perlu dilakukan sebagai data penunjang dalam tahap evaluasi dan analisa dari desain.

Tabel 1. Pengukuran Spesifikasi Sampel Kincir Vertikal

Sampel	Bulge (cm)	Radius/Jari-jari (cm)	Massa Kincir (g)	Luas Tangkapan Angin (cm ²)
1	5	5	2216,78	940
2	3,75	5,2	2094,56	803
3	2.5	6,25	1662,43	695
4	1,25	10,625	1507,64	625

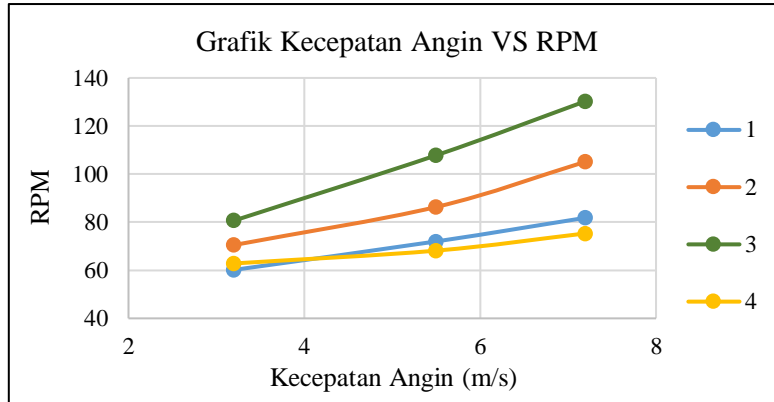
Pengujian pada masing-masing sampel kincir vertikal tersebut dilakukan sebanyak 3 kali dengan durasi setiap pengujian adalah 2 menit. Kecepatan sumber angin yang digunakan pada

setiap sampel adalah; 3,2m/s, 5,5m/s, dan 7,2m/s. Sehingga didapatkan nilai RPM rata-rata masing-masing sampel kincir pada kecepatan angin tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji RPM Sampel Kincir Vertikal

Sampel	Kecepatan angin (m/s)	RPM Rata-rata	Slope
1	3,2	60,1667	5,4011
	5,5	72	
	7,2	81,8333	
2	3,2	70,5	8,5649
	5,5	86,3333	
	7,2	105,1667	

3	3,2	80,6667	12,3821
	5,5	107,8333	
	7,2	130,3333	
4	3,2	62,8333	3,0790
	5,5	68,4667	
	7,2	75,3333	



Gambar 3. Grafik Kecepatan Angin terhadap RPM Kincir Vertikal

Efektivitas sampel tertinggi dalam mengubah energi kinetik dari angin menjadi putaran, berada pada sampel 3 dengan *bulge* 2,5cm. Dimana dapat dilihat bahwa nilai RPM sampel 3 lebih tinggi dari ketiga sampel lainnya. Selain melalui tingginya nilai RPM, kenaikan nilai RPM dengan gradien/kemiringan terbesar merupakan tolak ukur terhadap tingginya efektivitas kerja kincir dalam melakukan rotasi. Sampel 3 memiliki kenaikan nilai gradien/kemiringan terbesar sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3. Tingginya nilai gradien pada grafik mengindikasikan bahwa dengan peningkatan kecepatan angin, kincir dapat mengalami peningkatan jumlah rotasi karena memiliki desain aerodinamis yang baik. Desain pada sampel 3 tidak memberikan hambatan secara pasti terhadap peningkatan kecepatan angin, sehingga nilai RPM dapat mengalami peningkatan secara signifikan yaitu dengan nilai gradien sebesar 12,3821. Sampel 4 dengan *bulge* 1,25cm memiliki nilai RPM rata-rata 62,8333 pada kecepatan angin 3,2m/s dan tidak mengalami kenaikan secara signifikan pada peningkatan kecepatan berikutnya sebagaimana yang terjadi pada sampel 3. Hal ini menandakan bahwa gaya gesek dari angin menghambat laju rotasi kincir sampel 4.

Sampel 1 dan 2 memiliki nilai *bulge* lebih besar dari sampel 3 yaitu masing-masing sebesar 5cm dan 3,75cm. Dengan nilai *bulge* yang lebih besar maka luas daerah tangkapan energi kinetik

pada sampel 1 dan 2 akan semakin besar pula. Namun melalui percobaan yang dilakukan pada sampel 1 dan 2, kenaikan nilai RPM terhadap peningkatan kecepatan angin serta nilai RPM masing-masing sampel berada di bawah sampel 3. Melalui analisa pada sampel 1 dan 2, rendahnya nilai kemiringan atau gradien grafik serta rendahnya nilai RPM yang dicapai pada masing-masing sampel, adalah penyebab dari tidak menyeluruhnya pemanfaatan dari luas daerah tangkapan angin pada masing-masing desain sampel 1 dan 2. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat dari kelengkungan desain sampel 1 dan 2 yang melebihi batas maksimum *bulge* yang dapat diterapkan. Sehingga kelengkungan sudu sampel justru menutup area tangkapan angin yang semula didesain untuk menerima energi kinetik dari angin. Serta faktor lain yang dapat mendukung dari ketidakefektifan kerja kincir sampel 1 dan 2 adalah pada nilai massa yang dimiliki masing-masing sampel. Semakin besar nilai *bulge* yang digunakan pada desain, maka semakin besar pula jumlah bahan yang digunakan sehingga semakin besar massa total yang dimiliki kincir.

Dengan penetapan sampel 3 sebagai desain yang memiliki nilai efektivitas tertinggi, maka diketahui bahwa besar *bulge* pada setiap desain kincir vertikal yang digunakan pada inovasi teknologi *hybrid va wind turbine* memiliki perbandingan 1:4 terhadap lebar satu bilah kincir. Sehingga pada *hybrid va wind turbine* ukuran

Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

reguler dimana ukuran lebar satu bilah kincir adalah 56cm, nilai *bulge* yang digunakan adalah 14cm. Dan untuk *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis nilai *bulge* adalah sebesar 7cm.

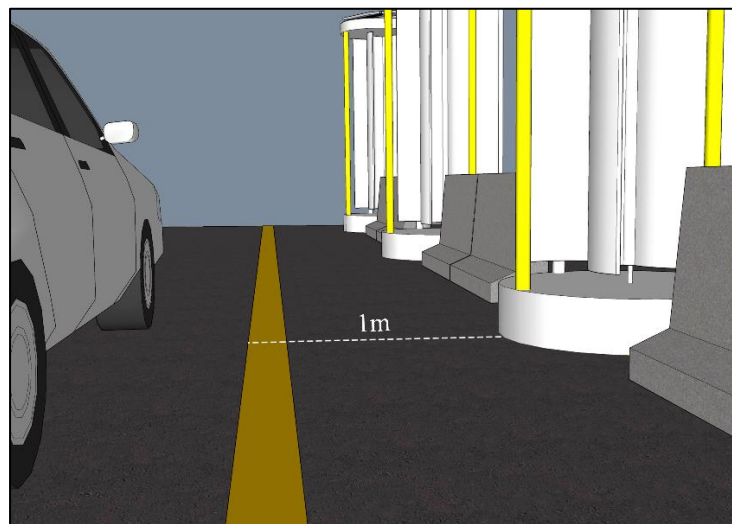
Peningkatan Aspek Keselamatan

Peningkatan desain dengan memperhatikan aspek keselamatan pengguna jalan yang melintas sangat perlu dilakukan. Lokasi penerapan inovasi teknologi *hybrid va wind turbine* yang diletakan pada bagian tengah antara dua jalur jalan yang berlawanan arah memerlukan perhatian khusus dalam upaya peningkatan aspek keselamatan pengguna jalan.

Penggunaan material atau bahan yang dapat merefleksikan cahaya dari lampu kendaraan pada malam hari, yang diletakkan pada bagian konstruksi *hybrid va wind turbine* merupakan salah satu metode untuk meningkatkan aspek keselamatan pengguna jalan. Penggunaan material reflektif memiliki keunggulan dibanding penggunaan penerangan dengan lampu pada unit *hybrid va wind turbine*. Material reflektif tidak

mengonsumsi daya listrik sehingga energi listrik yang dihasilkan unit *hybrid va wind turbine* tidak perlu melalui tahap kalkulasi secara khusus akibat penggunaan daya dari komponen internal *hybrid va wind turbine* sendiri.

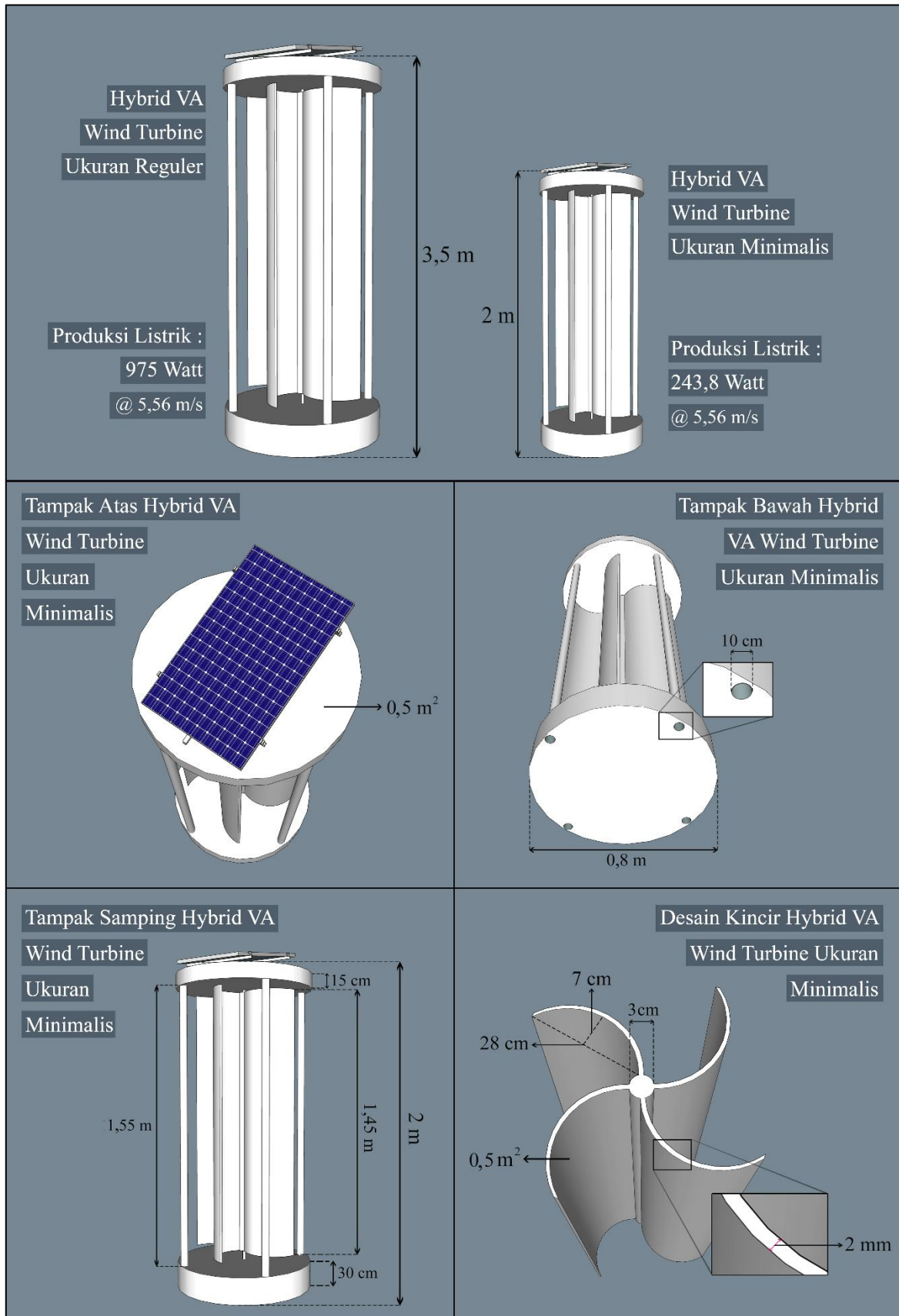
Pengukuran terhadap lebar bagian tengah kedua jalur jalan yang berlawanan arah untuk penerapan *hybrid va wind turbine* juga dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan pengendara. Selain penerapan material reflektif pada konstruksi *hybrid va wind turbine*, pemberian toleransi jarak antara bagian sisi terluar kincir dan bagian terluar lajur jalan sangat perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada konstruksi *hybrid va wind turbine* serta demi keselamatan pengendara yang melintas. Pemberian toleransi minimum 1 meter dari masing-masing bagian terluar lajur jalan serta penerapan pembatas jalan beton (*concrete road barrier*) sebagai pemisah antar jalur dapat diterapkan pada setiap daerah potensial implementasi *hybrid va wind turbine*.



Gambar 4. Ilustrasi Kondisi Penerapan Material Reflektif (Bagian Kuning) dan Toleransi Jarak

Pada jalan-jalan dengan lebar bagian tengah antara kedua jalur jalan yang berukuran di bawah 2meter (<2m) tidak dapat dipasang *hybrid va wind turbine* reguler, sehingga penerapan *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis merupakan solusi untuk daerah tersebut. *Hybrid va wind turbine* ukuran minimalis menghasilkan daya yang lebih kecil dengan rasio daya keluar (*output*) sebesar 1:4 terhadap daya yang dihasilkan oleh *hybrid va wind turbine* ukuran reguler. Besarnya daya yang dihasilkan dari *hybrid va wind turbine* ukuran reguler adalah sebesar 975Watt pada

kecepatan angin 5,56m/s. Sehingga dengan rasio 1:4, daya yang dihasilkan oleh satu unit *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis adalah sebesar 243,794Watt. *Hybrid va wind turbine* ukuran minimalis memiliki total tinggi konstruksi sebesar 2 m dan lebar total konstruksi sebesar 0,8m (80cm). Sehingga dengan memperhatikan nilai toleransi jarak dari bagian terluar jalur terhadap unit *hybrid va wind turbine*, maka *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis dapat diterapkan pada daerah potensial dengan lebar bagian tengah antar jalur jalan minimal 1,8m.



Gambar 5. Desain Keseluruhan Bagian Hybrid VA Wind Turbine dari Berbagai Sudut Pandang

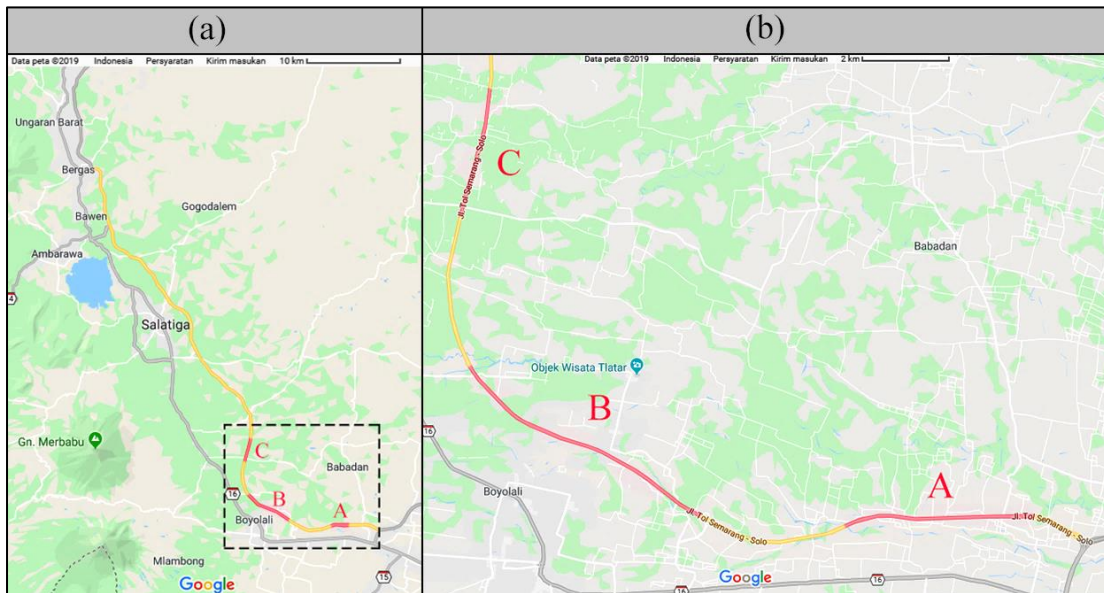
Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

Penentuan Daerah Potensial

Penentuan daerah efektif untuk implementasi *hybrid va wind turbine* pada penelitian ini dilakukan dengan pengukuran terhadap aspek-aspek potensi yang dimiliki oleh jalan di antaranya; rata-rata intensitas kendaraan yang melintas, kecepatan rata-rata kendaraan yang melintas, kecepatan angin rata-rata yang tersedia akibat laju kendaraan yang melintas, lebar bagian tengah antara kedua jalur jalan yang berlawanan arah, kondisi geografis jalan, serta potensi timbulnya kepadatan atau faktor yang

menyebabkan kendaraan berhenti pada jalan tersebut. Aspek-aspek di atas saling terkait satu sama lain sebagai tolak ukur terhadap kelayakan suatu daerah untuk diterapkan inovasi teknologi *hybrid va wind turbine*.

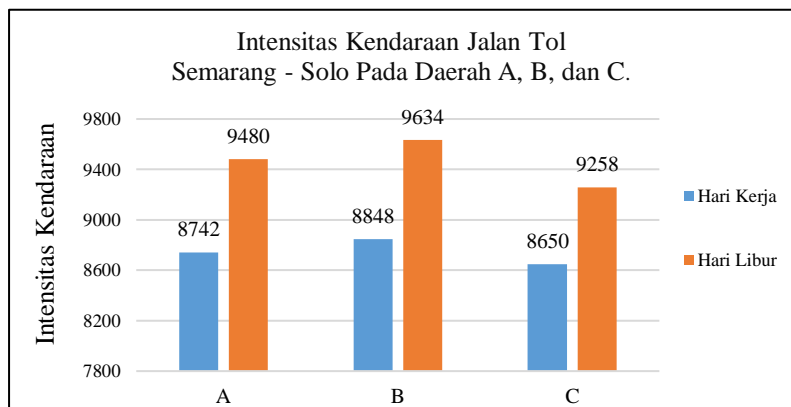
Jalan Tol Semarang - Solo memiliki total panjang jalan 75,7km dan dalam penelitian ini telah dipilih 3 titik awal yang diprediksi dan diukur aspek-aspek teknis kelayakannya untuk dilakukan implementasi *hybrid va wind turbine* pada daerah tersebut. Ketiga titik awal tersebut terletak pada kilometer; 487 – 491, 477 – 483, 470,4 –474.



Gambar 6. (a) Peta Jalan Tol Semarang – Solo dan Daerah Potensial A, B, dan C; (b) Perbesaran Peta Jalan Tol Semarang – Solo pada Daerah Potensial A, B, dan C. (Sumber: *Google Maps*, 2019)

Dengan mempertimbangkan parameter dan aspek-aspek teknis yang telah ditentukan dan diobservasi sebagai tolak ukur potensi yang dimiliki suatu jalan terhadap implementasi *hybrid*

va wind turbine maka data dari 3 zona potensial awal pada daerah potensi Jalan Tol Semarang-Solo tersebut dapat disajikan dalam diagram dan tabel sebagai berikut:



Gambar 7. Diagram Intensitas Kendaraan Jalan Tol Semarang – Solo pada Daerah Potensial A, B, dan C (Sumber: *Laporan Harian Volume Kendaraan BPJT 2019*)

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran dan Deskripsi Potensi Daerah Potensial A, B, dan C pada Jalan Tol Semarang - Solo

Parameter	Sampel		
	A	B	C
Lokasi	km 487 – km 491	km 477 – km 483	km 470,4 – km 474
Panjang (km)	4	6	3,6
Kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam)	78,5	82,5	80,4
Kecepatan rata-rata angin akibat laju kendaraan (m/s)	6,3	7,26	6,47
Lebar rata-rata bagian tengah antar jalur jalan (m)	4	4,25	3,5
Kondisi geografis	Jalan mendatar dan lurus dengan area kiri dan kanan adalah sawah & rumah warga berjarak ± 300m	Jalan mendatar dengan sedikit membelok ke arah barat laut pada bagian tengah, serta melalui 5 jembatan layang	Jalan mendatar relatif lurus dengan bagian kiri dan kanan didominasi oleh rumah warga
Faktor pengurangan / penghentian kecepatan kendaraan	-	-	-
Jenis <i>hybrid va wind turbine</i> yang dapat diimplementasi	<i>Hybrid va wind turbine</i> ukuran reguler	<i>Hybrid va wind turbine</i> ukuran reguler	<i>Hybrid va wind turbine</i> ukuran reguler
Estimasi total unit <i>hybrid va wind turbine</i> yang dapat dibangun (jarak antar unit ± 3 meter)	1300 unit	2000 unit	1200 unit
Kapasitas energi listrik <i>hybrid va wind turbine</i> per unit (Watt)	1418,7	2171	1536,6
Total kapasitas energi listrik (MW)	1,84	4,34	1,84

Implementasi inovasi teknologi *hybrid va wind turbine* pada ketiga daerah potensial A, B, dan C pada penelitian ini, sangat berpotensi untuk dilakukan. Besarnya daya listrik yang dihasilkan pada masing-masing titik akan melebihi kebutuhan energi listrik yang dikonsumsi untuk penerangan lampu jalan pada masing-masing daerah tersebut. Sehingga penerapan *hybrid va wind turbine* ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik yang dapat ikut serta dalam menghasilkan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sehari-hari.

IV. Kesimpulan

1. Nilai efektivitas desain kincir miniatur tertinggi didapati pada nilai *bulge* 2.5cm sehingga diketahui bahwa besar *bulge* pada setiap desain kincir vertikal yang digunakan pada inovasi teknologi *hybrid va wind*

turbine ini memiliki perbandingan 1:4 terhadap lebar satu bilah kincir. Sehingga pada *hybrid va wind turbine* ukuran reguler dimana ukuran lebar satu bilah kincir adalah 56cm, nilai *bulge* yang digunakan adalah 14cm. Dan untuk *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis nilai *bulge* adalah sebesar 7cm.

2. Untuk meningkatkan aspek keselamatan pengguna jalan, digunakan material reflektif yang memiliki keunggulan dimana material reflektif tidak mengonsumsi daya listrik. Selain penerapan material reflektif, pemberian toleransi jarak 1m antara bagian sisi terluar kincir dan bagian terluar lajur jalan dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan konstruksi serta demi keselamatan pengendara yang melintas. Sedangkan pada jalan-jalan dengan lebar bagian tengah antara

Pemanfaatan Energi Angin akibat Laju Kendaraan Berbasis Pengembangan Inovasi Teknologi *Hybrid Vertical Axis Wind Turbine* sebagai Penghasil Listrik untuk Mewujudkan Ketahanan Energi Nasional

kedua jalur jalan yang berukuran di bawah 2 meter ($<2\text{m}$) tidak dapat diterapkan *hybrid va wind turbine* ukuran reguler, sehingga penerapan *hybrid va wind turbine* ukuran minimalis merupakan solusi untuk daerah tersebut.

3. Jalan Tol Semarang - Solo yang memiliki total panjang jalan 75,7 km dibagi ke dalam 3 titik awal yang pada penelitian ini dinyatakan berpotensi untuk implementasi *hybrid va wind turbine*. Dimana aspek kelayakan diuji melalui potensi yang dimiliki oleh jalan di antaranya; rata-rata intensitas kendaraan, kecepatan rata-rata kendaraan, kecepatan angin rata-rata, lebar bagian tengah antara kedua jalur jalan, kondisi geografis jalan, serta potensi timbulnya kepadatan.

V. Rekomendasi

Penelitian lanjutan meliputi aspek keekonomian dari inovasi teknologi *hybrid va wind turbine* ini sangat perlu dilakukan, sehingga diketahui kelayakan implementasi dari segi ekonomi serta dapat dikembangkan guna selanjutnya memberikan kontribusi dalam memasok daya listrik yang dibutuhkan oleh kegiatan masyarakat sehari-hari.

Penelitian lanjutan dengan perancangan hingga tahap akhir inovasi teknologi *hybrid va wind turbine* perlu dilakukan sehingga dapat diketahui spesifikasi komponen internal dan eksternal yang dibutuhkan, besar tegangan yang dihasilkan, daya maksimum yang dihasilkan dari panel surya pada bagian atas konstruksi *hybrid va wind turbine* serta spesifikasinya dapat diketahui secara lebih eksak.

VI. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada pihak BPJT (Badan Pengatur Jalan Tol) atas dukungan dan kesediaannya meliputi pemberian izin dalam kegiatan wawancara, pengambilan data, serta dalam penelitian lapangan.

VII. Daftar Pustaka

Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), 2019. *Laporan Harian Gerbang Tol Colomadu Volume Lalu Lintas Tol, Solo*.

Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), 2019. *Laporan Harian Gerbang Tol Boyolali Volume Lalu Lintas Tol*.

Chamdani Irwan Saputra dkk, "Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Triple-Stage Savonius Dengan Poros Ganda". Prosiding Seminar Nasional Fisika / VOLUME IV, OKTOBER 2015, SSN: 2339-0654 e-ISSN: 2476-9398.

Hau, Erich. 2005. *Wind Turbine Fundamentals, Technologies, Application, Economics Third Translated Edition*. New York: Springer. Halaman: 82.

Luthfi, Fachrudin Suhardiman, dkk. (2013). Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius Dengan Variasi Jumlah Stage Dan Phase Shift Angle Untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 1: Halaman 1-7.

Mahmoud. N. H, El-Haroun. A.A. (2012). *An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance*. Egypt: Alexandria Engineering Journal. Halaman 2.

Rifadli, M.M., Purwanto, E., Jaya, A., Prabow, G., 2013. *Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kincir Angin Sumbu Vertikal untuk Beban Rumah Tinggal*. Seminar on Intellegent Technology and It's Applications.

Sri Jumini, Lufti Holifah. 2014. *Menentukan Kondisi Lingkungan Berdasarkan Pengukuran Kecepatan Angin Dengan Anemometer Sederhana*. *Jurnal PPKM II*.