



E-COBRA: Integrasi Teknologi Turbin Angin pada Power Bank Mobil Listrik untuk Transportasi Berkelanjutan

Falisha Azfa Rania Puteri, Tsurayya Karima Hana
Nur Kholis Novianto, M.Pd.
SMA Pradita Dirgantara
falishaazfa28@gmail.com

ABSTRAK

Ketergantungan pada energi tidak terbarukan tetap menjadi tantangan besar, meskipun mobil listrik semakin populer, karena sebagian besar sumber listrik berasal dari batu bara. Dalam menanggulangi permasalahan tersebut, makalah ini mengusulkan E-COBRA, sistem turbin angin dengan rotor magnet sebagai sumber listrik terbarukan yang dapat memperpanjang masa pakai baterai mobil listrik. Berfungsi sebagai power bank, E-COBRA memanfaatkan energi angin saat mobil bergerak dan mengubahnya menjadi listrik guna menyokong baterai. Rancangan E-COBRA mengikuti prinsip aerodinamika, dengan pemasangan di atap mobil listrik untuk memanfaatkan energi kinetik dari angin yang menerpa mobil. Gaya angkat yang dihasilkan oleh udara di atas atap mobil listrik akan memutar turbin angin. Di dalam generator, energi mekanik digunakan untuk memutar rotor magnet di dalam gulungan kawat stator yang tidak bergerak, mengubah medan magnet dan menginduksi aliran listrik pada kawat. Proses ini menghasilkan listrik yang akan dialirkan dengan kabel dan terhubung langsung ke port pengisian daya mobil. Makalah ini membandingkan rancangan penggunaan turbin angin bertambah diffuser (DAWT) dengan turbin angin sumbu vertikal (VAWT) untuk sistem E-COBRA. Komparasi menunjukkan bahwa DAWT menghasilkan energi terbesar, dengan penelitian terdahulu menunjukkan hasil daya listrik sebesar 3,26 kW pada kecepatan mobil 120 km/jam. Teknologi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan pada energi tidak terbarukan, tetapi juga menawarkan solusi signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan jangkauan perjalanan mobil listrik. Dengan demikian, pendekatan ini mewakili kemajuan yang signifikan dalam solusi transportasi berkelanjutan.

Kata Kunci : DAWT, Mobil listrik, Transportasi berkelanjutan, Turbin angin, VAWT

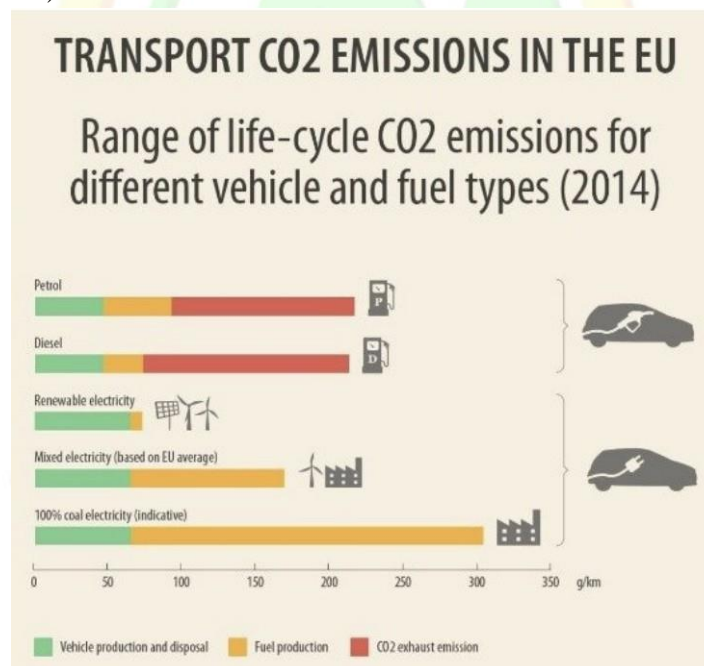




PENDAHULUAN

Kelangkaan energi tak terbarukan seringkali menjadi fokus utama dan dasar dari berbagai inovasi ilmiah. Berbagai upaya telah dilakukan untuk menyediakan sumber energi berkelanjutan bagi kehidupan sehari-hari, termasuk di aspek transportasi. Kendaraan listrik merupakan inovasi yang dianggap sebagai kunci dari pemecahan masalah transportasi tidak berkelanjutan. Menurut Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, penggunaan kendaraan listrik secara menyeluruh dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar karbon, serta memperbaiki kualitas udara Indonesia (Menhub, n.d.). Hal ini didasarkan oleh fakta bahwa kendaraan listrik tidak menggunakan bahan bakar, sehingga tidak menghasilkan polusi yang berdampak buruk bagi lingkungan (Ramadhina & Najicha, 2022). Kendaraan listrik berbasis baterai saat ini memiliki daur hidup emisi gas rumah kaca (GRK) terendah dan berpotensi mencapai nol emisi di masa depan. Mobil listrik saat ini menghasilkan emisi yang 47%–54% lebih rendah dibandingkan mobil konvensional (Mera & Bieker, 2023).

Namun, walaupun mobil listrik tidak menghasilkan emisi karbon pembakaran bahan bakar, mobil listrik tetap berkontribusi kepada emisi karbon Indonesia. Bukan dari mobilitas mobil, melainkan dari sumber listrik yang menjadi nyawa dari mobil tersebut. Di Indonesia, sekitar 60% sumber energi listrik berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Batu Bara (Winarto, 2015).



Sumber: Raksodewanto (2020)

Gambar 1. Data Emisi CO2 di Eropa

Gambar 1 menunjukkan total emisi karbondioksida sebuah kendaraan, dimulai dari proses produksi kendaraan, produksi bahan bakar, hingga pembakaran bahan bakar tersebut. Data ini menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida per km mobil listrik dengan sumber listrik PLTU Batubara lebih besar dibandingkan mobil konvensional petrol maupun diesel. Kondisi ini hanya akan menggeser masalah pencemaran udara dari kota ke area sekitar PLTU (Raksodewanto, 2020). Maka, ini menunjukkan bahwa tujuan transportasi ramah lingkungan dari mobil listrik tidak akan bisa terpenuhi tanpa sumber listrik terbarukan.





Lain dari itu, mobil listrik juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan mobil konvensional yang membuat pelaksanaan program transisi penggunaan energi terbarukan terhambat. Sebagai inovasi terbaru, ketersediaan infrastruktur pengisian daya, stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU), masih sangat terbatas sejumlah 1,124 unit (2024) dibandingkan dengan jumlah stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) 14,400 (2023). Ditambah dengan jangkauan terbatas mobil listrik yang dikarenakan kapasitas baterai. Dua masalah ini menyebabkan mobil listrik tidak cocok untuk perjalanan jarak jauh.

Maka dari itu, diperlukan cara untuk memanfaatkan energi terbarukan sebagai sumber daya mobil listrik dan menjaga kestabilan tenaga untuk perjalanan jarak jauh. Makalah ini mengusulkan *Electric Car Power Bank for Sustainable Transportation*, atau disingkat, E-COBRA. E-COBRA adalah inovasi *power bank* bagi mobil listrik yang memanfaatkan tenaga angin menggunakan turbin angin yang dilengkapi oleh rotor magnet untuk memastikan output energi yang stabil. Inovasi ini dirancang untuk menunjang baterai mobil listrik. Saat mobil listrik melaju, E-COBRA yang terletak di atap mobil, akan memanfaatkan energi kinetik yang terbuang dari angin yang menerpa mobil. Turbin angin akan memanfaatkan angin untuk memutar motor dan menghasilkan listrik yang kemudian disalurkan langsung melalui kabel yang terhubung ke port pengisian daya mobil, memungkinkan pengisian baterai secara kontinu selama perjalanan.

Kemampuan E-COBRA untuk mengkonversi energi angin menjadi listrik di mana saja saat mobil bergerak dapat menyelesaikan tiga masalah yang dialami mobil listrik, yaitu keterbatasan jangkauan baterai, kurangnya infrastruktur pengisian daya, serta ketergantungan pada sumber energi tidak terbarukan. Dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, E-COBRA tidak hanya memaksimalkan jangkauan mobil listrik. E-COBRA juga berkontribusi dalam menekan emisi karbon.

Makalah ini akan meninjau berbagai penelitian terdahulu guna menentukan rancangan E-COBRA yang dapat menghasilkan daya listrik terbesar dan paling efisien. Lain dari itu, makalah ini akan membuktikan daya yang dapat dihasilkan E-COBRA dengan eksperimen sederhana. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan E-COBRA akan berfungsi secara optimal dan dapat menjadi solusi yang layak untuk diterapkan di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Tinjauan Pustaka Mengenai Penggunaan Mobil Listrik

1.1. Mobil listrik

Mobil listrik adalah sebuah kendaraan mobil yang dioperasikan oleh satu atau lebih sistem listrik. Mobil listrik memanfaatkan energi listrik untuk bergerak, yang disimpan dengan baterai sekunder yang dapat diisi ulang dengan sistem *charging*. Seperti mobil pada umumnya, mobil listrik memiliki empat roda mobil yang terpasang pada tiap ujung mobil. energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan mobil listrik membantu roda mobil mendapatkan torsi yang seimbang, memberikan mobil listrik gerakan dan percepatan yang halus (Dzaky, 2018)

1.2. Sistem *Charge* pada Mobil Listrik

Mobil listrik menyimpan energi listrik yang akan digunakan untuk mengoperasikan kendaraan pada baterai. Baterai pada mobil listrik dapat diisi ulang melalui proses pengisian daya baterai atau yang dikenal sebagai proses *charging*. Pada proses ini, baterai dialirkan energi listrik dari sumber





listrik dengan tegangan yang disesuaikan dengan kapasitas baterai tertentu. Daya minimum yang dibutuhkan untuk mengisi ulang daya pada mobil listrik berbeda tergantung dengan waktu yang diinginkan untuk mengisi baterai sehingga penuh. Apabila pengguna menginginkan pengisian daya yang lebih cepat, maka daya minimum yang dibutuhkan untuk *charging* juga lebih banyak (Aswardi, Elfizon, & Warman, 2018).

2. Tinjauan Pustaka Mengenai Turbin Angin

2.1. Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah teknologi kincir angin yang dikembangkan untuk menciptakan pembangkit listrik yang memanfaatkan angin untuk memberikan torsi pada kincir angin. Pada turbin angin, energi kinetik yang terbentuk dari berputarnya kincir yang menggerakkan generator listrik dimanfaatkan dan diubah menjadi energi listrik (Brilliyanto, 2024). Turbin angin dapat memproses pembuatan energi listrik pada saat angin menghembus *blade rotor* atau kincir. Pada proses tersebut, generator, mesin yang digunakan untuk memproduksi listrik juga berputar seiring berputarnya rotor. Dengan prinsip medan elektromagnetik, *generator* mengubah energi mekanik yang dihasilkan dari putaran tersebut menjadi energi listrik yang kemudian ditransmisikan melalui kabel (Prasetio, 2019).

2.2. DAWT

DAWT atau *diffuser augmented wind turbine* merupakan sebutan yang digunakan untuk turbin angin yang di desain dengan bentuk kerucut yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi tinggi pada turbin angin dalam mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik dengan biaya yang lebih rendah. Turbin angin DAWT dimodifikasi dengan *diffuser* angin yang berbentuk kerucut, menyebabkan penurunan tekanan pada saluran keluar *diffuser* yang membantu peningkatan laju aliran angin pada saluran masuk *diffuser* guna mendapatkan efisiensi tertinggi (Naji & Jabbar, 2024).

2.3. VAWT

VAWT atau *vertical axis wind turbine* merupakan turbin angin yang sumbu dari kincirnya berputar dengan poros yang vertikal. Pada VAWT, arah berhembusnya angin sejajar dengan rotor yang menyebabkan kincir dapat berputar dengan hembusan angin dari berbagai arah. VAWT membutuhkan torsi yang rendah untuk berputar yang membuatnya dapat berputar dalam kecepatan angin rendah sekalipun. Selain itu, *generator* pada VAWT dipasang dibawah kincir, membuatnya jadi mudah diakses untuk perawatan (Maulana, 2019).

3. Tinjauan Pustaka Mengenai Korelasi

3.1. Korelasi

Dalam istilah statistik, korelasi mengacu pada saling ketergantungan jumlah variabel (Oxford Languages). Dengan kata yang lebih sederhana, korelasi adalah hubungan antara dua atau lebih variabel. Ada beberapa panduan dan aturan dalam melakukan investigasi korelasi, karena seringnya terjadi penyalahgunaan dalam melakukan investigasi korelasi (M.M. Mukaka, 2012).

3.2. Analisis Regresi Linier

Analisis regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis hubungan antara satu variabel independen dan variabel





dependen. Analisis statistik akan dinyatakan dengan persamaan $y = mx + c$. Nilai x mewakili variabel independen sedangkan variabel y mewakili variabel dependen dari analisis. Persamaan ini dilakukan dengan memvisualisasikan data yang terkumpul dengan grafik scatter plot, kemudian menambahkan trendline di dalamnya dimana trendline tersebut memiliki persamaan $y = mx + c$ (Ali & Younas, 2021).

3.3. Koefisien Korelasi Product Moment Pearson

PPMCC atau koefisien korelasi product moment Pearson adalah jenis koefisien korelasi yang digunakan untuk merepresentasikan arah dan kekuatan korelasi antara dua variabel data (Schober et al., 2018). Koefisien korelasi Pearson dilambangkan sebagai r . Koefisien ini juga menunjukkan seberapa jauh titik-titik data menjauh dari garis tren, memberikan gambaran seberapa tersebar data yang terkumpul. Metode statistik ini akan digunakan dalam penelitian ini untuk memberikan indikasi kecepatan yang harus dialami mobil untuk menghasilkan daya untuk pengisian baterai.

Penelitian terdahulu

1. Simulasi Numerik Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Kinerja Turbin Angin yang Ditingkatkan dengan Diffuser

Mengikuti prinsip aerodinamika, bentuk dari turbin angin tentu mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari turbin angin. Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) merupakan wind turbine yang dibuat dengan bentuk kerucut yang membantu turbin angin dapat mengoptimalkan kinerjanya dan menghasilkan *power output* yang maksimal. Mengacu pada penelitian terdahulu dengan simulasi komputer ANSYS Workbench 19, telah diberlakukan uji coba pada performa VAWT pada kecepatan angin yang berbeda-beda dengan panjangbilah 4,32 meter pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s. Turbin ini dimodifikasi dengan menambahkan diffuser sepanjang 9 meter. Penelitian ini menunjukkan perbedaan hasil persentase performa yang signifikan, yaitu 115,6% pada kecepatan angin 3 m/s, 99,2% pada kecepatan angin 5 m/s, dan 91,8% pada kecepatan angin 7 m/s.

Hasil dari penelitian ini mengidentifikasi bahwa performa dari DAWT menunjukkan hasil yang maksimal pada kecepatan angin yang lebih rendah, yaitu 3 m/s, dengan persentase performa sebesar 115,6%. Penelitian ini memberikan gambaran yang penting mengenai efek dari kecepatan angin terhadap performa turbin angin yang dimodifikasi guna membantu pertimbangan kondisi operasional yang terbaik untuk menginovasikan alat yang terbaik untuk penunjang daya pada mobil elektrik (Irawan & Harianto, 2019).

2. Penelitian Mengenai Aliran Daya Aktif dan Efisiensi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Tunggal

Turbin angin dengan poros vertikal (VAWT) sering dikenal sebagai turbin angin yang dapat berputar dengan mudah karena dapat lebih sensitif terhadap hembusan angin dari segala arah (Naji & Jabbar, 2024). Mengacu pada





penelitian terdahulu, telah diselidiki karakteristik aliran daya pada turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dalam sistem tunggal berdasarkan kondisi angin di Sulawesi Selatan, khususnya di daerah dengan potensi energi angin tinggi seperti Jeneponto dan Sidrap. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin 23 m/s, VAWT tunggal dapat menghasilkan aliran daya aktif angin sebesar 2.980,9 watt, dengan tegangan tertinggi 14,22 V dan arus 5,8 A. Efisiensi dari VAWT tunggal tercatat tertinggi pada 0,165% untuk kecepatan angin 10 m/s, meskipun efisiensi menurun seiring peningkatan kecepatan angin. Data ini menunjukkan hubungan langsung antara kecepatan angin dengan putaran generator dan turbin, serta pentingnya kondisi angin dalam menentukan output daya VAWT, yang relevan untuk pengembangan pembangkit listrik bagi mobil listrik (Azis, Parawangsa, & Fitri, 2023).

3. Pembangkitan Tenaga Listrik oleh Turbin Angin untuk Mengisi Daya Mobil Listrik Bergerak

Pada penelitian lain, telah dilakukan perhitungan teoritis mengenai perkiraan hasil daya listrik dari DAWT tunggal yang dipasang di atas mobil listrik sebagai penunjang baterai. Menyesuaikan dengan konsep aerodinamik pada mobil, DAWT tunggal diletakkan di atas *windscreen* mobil untuk mendapatkan kecepatan angin yang maksimal ketika mobil mulai bergerak. Melalui perhitungan teoritis yang dilakukan, daya listrik yang dihasilkan dari angin menunjukkan angka sekitar 3,26 kW untuk disalurkan pada baterai pada kecepatan mobil 120 km/jam (Quartey & Adzimah, 2014).

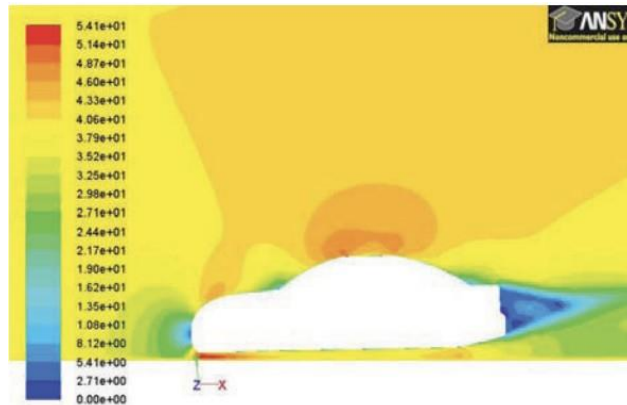
PEMBAHASAN

Makalah ini membandingkan hasil daya yang bisa dihasilkan oleh kedua turbin, VAWT dan DAWT, guna menghasilkan rancangan E-COBRA yang paling efektif bekerja dan kompatibel dengan cuaca Indonesia. Konsep rancangan E-COBRA akan disesuaikan dengan hasil dari perbandingan turbin tersebut.

Konsep Desain E-COBRA

E-COBRA merupakan sebuah produk penunjang baterai mobil listrik yang memanfaatkan energi listrik dari turbin angin yang dipasang pada atap mobil listrik. Mengikuti penelitian oleh Hu dan Wong (2011), penyebaran percepatan angin pada sebuah mobil paling tinggi di bagian atas atap. Maka dari itu, turbin angin akan diletakkan di bagian atas atap guna memanfaatkan kecepatan angin optimal.





Sumber: Hu dan Wong (2011)

Gambar 2 Distribusi Percepatan Angin pada Mobil

Pemasangan E-COBRA membutuhkan rangka *roof rail* sehingga pegangan E-COBRA bisa dikaitkan dengan mudah dan aman. Rangka *cross bar* ini berfungsi sebagai fondasi utama dari produk ini, memastikan stabilitas E-COBRA agar tidak berpindahposisi maupun jatuh, bahkan saat mobil bergerak dengan kecepatan tinggi atau melewati medan yang tidak rata. Berfungsi sebagai produk tambahan, mekanisme pemasangan E-COBRA sederhana, memungkinkan orang awam melepas-pasang produk tanpa memerlukan keterampilan teknis ataupun alat khusus. Mekanisme pemasangan E-COBRA melibatkan pegangan besi khusus yang dapat dengan mudah dikaitkan dengan *roof rack*. Selain itu, E-COBRA memiliki rancangan universal pada gagang pengait dengan kemudahan penyesuaian sudut, menjadikan E-COBRA bisa dikaitkan dengan tiap jenis *roof rail*. Hal ini menjadikan E-COBRA sebagai solusi yang praktis dan mampu kompatibel dengan semua tipe mobil listrik, tanpa memerlukan modifikasi mobil.

E-COBRA memiliki kabel yang menjulur dari bagian generator hingga port pengisian daya. Kabel ini dirancang dengan cover magnetik sehingga dapat ditempelkan dengan rapi pada sisi mobil. Tujuan dari cover magnetik ini adalah menjaga estetika mobil, serta memastikan mekanisme buka-tutup pintu tidak terganggu. Mekanisme pengisian daya oleh E-COBRA menyerupai mekanisme pengisian daya mobil listrik pada umumnya. Oleh karena itu, bagian ujung dari kabel–bagian yang akan dipasang ke port pengisi daya–dilengkapi oleh pelindung port pengisi daya tahan air. Fitur ini menjaga penutup portyang terbuka sepanjang perjalanan tidak patah. Sebagai tambahan, fitur ini dibuat untuk mengantisipasi kondisi hujan turun secara tiba-tiba di tengah perjalanan, yaitu situasi di mana E-COBRA tidak dapat langsung dilepas dari kendaraan. Maka, E-COBRA dilengkapi dengan penutup port pengisi daya yang tahan air, dirancang khusus untuk melindungi port dari air hujan, bahkan saat port dalam keadaan terbuka karena sedang tercolok. Dengan demikian, E-COBRA dapat berfungsi dengan aman dan efisien dalam berbagai kondisi cuaca. Mengikuti peraturan untuk *roof rack*, E-COBRA akan memiliki berat dibawah 75 kg. Sementara untuk tinggi E-COBRA sebesar 30 cm, menyesuaikan dengan tinggi rata-rata mobil listrik di Indonesia, yaitu 1,6 m, serta batas maksimum tinggi mobil di terowongan tol, yaitu 2,1 m.

Analisis Data

Makalah ini dibuat untuk menyusun sistem kerja dari produk E-COBRA untuk mencapai target *output* yang ideal sebagai *power bank* untuk mobil listrik. Konsiderasi utama dalam perancangan E-COBRA adalah turbin yang digunakan, yaitu antara penggunaan turbin angin bersumbu vertikal (VAWT) atau turbin angin sumbu horizontal





dengan diffuser (DAWT). Dalam konsiderasi ini, akan dilakukan perhitungan untuk membandingkan efisiensi dari kedua model turbin angin serta mencari tahu kecepatan minimal dan maksimal mobil yang harus diperhatikan oleh pengendara saat mengoperasikan E-COBRA dikala berkendara.

A. Variabel Penelitian

a. Variabel Independen

Variabel independen merupakan variabel yang akan mempengaruhi hasil dari variabel dependen. Pada penelitian ini, akan dilakukan kalkulasi teoritis untuk mengidentifikasi *power output with losses* pada turbin angin VAWT dan DAWT pada kecepatan mobil yang bervariasi, untuk melihat pengaruh kenaikan kecepatan mobil pada efisiensi dan *output* turbin.

Tabel 1 Variabel Independen pada Penelitian

Variabel Independen	Deskripsi
Kecepatan Efisien	Kecepatan efisien adalah kecepatan angin pada bagian atap mobil. Pada penelitian ini, perhitungan akan dilakukan dari kecepatan efisien yang berbeda-beda untuk melihat kecepatan ideal yang harus dipenuhi mobil pada saat mobil mengoperasikan E-COBRA.

b. Variabel Dependen

Variabel dependen merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel independen, yaitu yang akan berganti seiring bergantinya variabel independen.

Tabel 2 Variabel Dependen pada Penelitian

Variabel Dependen	Deskripsi
<i>Output power with losses</i>	Pada penelitian ini, <i>output power with losses</i> akan menjadi variabel dependen pada penelitian.
Efisiensi Asli	Efisiensi Asli dari mesin turbin angin juga akan menjadi variabel dependen. Efisiensi akan diberikan dalam bentuk persentase (%) untuk memastikan kinerja mesin efisien.

c. Variabel Kontrol

Variabel kontrol pada penelitian adalah variabel pelengkap yang mengontrol hubungan kausalitas dari variabel independen dan variabel dependen. Tidak akan ada perubahan pada nilai variabel kontrol.

Tabel 3 Variabel Kontrol pada Penelitian

Variabel Kontrol	Nilai (m)	
	DAWT	VAWT
Radius Turbin	0.09	0.09





Tinggi turbin	0.3	0.3
Diameter <i>Inlet</i> Diffuser	0.2	-
Diameter <i>Exit</i> Diffuser	0.3	-

Pada penelitian ini, variabel kontrol berupa radius turbin, tinggi turbin, dan kecepatan angin. radius dan tinggi dari turbin berpengaruh sebagai kontrol dikarenakan menurut rumus energi potensial angin, radius berbanding lurus dengan hasil akhir daya yang dikeluarkan oleh turbin angin. Selain itu, kecepatan angin juga akan mempengaruhi hasil akhir dari daya yang akan dikeluarkan oleh turbin angin.

B. Kalkulasi

Dalam mengkalkulasikan *power output with losses* yang dikeluarkan oleh turbin angin, terdapat beberapa konsep dan rumus-rumus dasar yang harus dipenuhi untuk melengkapi variabel-variabel yang dibutuhkan dalam kalkulasi. Pada penelitian ini, perhitungan untuk mendapatkan efisiensi dan *power output with losses* dari masing-masing akan diperhitungkan dengan runtutan sebagai berikut :

Pertama-tama, harus diketahui total daya yang dimiliki oleh angin. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin pada dasarnya ditentukan oleh energi kinetik dari angin. Rumus dasar untuk menghitung daya yang tersedia dalam angin adalah :

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v_{eff}^3$$

Dengan keterangan :

P_{wind} = daya yang tersedia dalam angin (watt)

ρ = intensitas udara (kg/m^3)

A = luas sapuan turbin (m^2)

v_{eff} = kecepatan efisien (m/s)

- Selanjutnya, efisiensi total dari turbin akan diperhitungkan untuk mencari tahu *power output* dari turbin secara keseluruhan nantinya. perhitungan efisiensi dari turbin angin adalah sebagai berikut :

$$\mu = (1 - k_m) \times (1 - k_t) \times (1 - k_{e,t}) \times (1 - k_t) \times (1 - k_w) \times c_p$$

Dengan keterangan :

c_p = Efisiensi turbin angin (harus lebih rendah dari batas Bertz (59.3%), dan biasanya di antara 30-40%)

k_t = Kerugian akibat topografi medan, biasanya 3-10%

k_m = Kerugian mekanis dari baling-baling dan kotak roda gigi, biasanya 0%-0,3%





- k = kerugian listrik dari turbin, biasanya 1-1,5%
- k^e = kerugian listrik dari transmisi ke jaringan, biasanya 3-10%
- $k^{e,t}$ = Persentase waktu tidak dapat digunakan karena kegagalan atau pemeliharaan, biasanya 2-3%
- μ = Efisiensi asli

Pada perhitungan tahap terakhir, *power output with losses* atau daya net yang dikeluarkan oleh turbin angin didapatkan dari perkalian hasil efisiensi asli dan daya yang tersedia pada angin.

$$P_{output} = \mu \times P_{wind}$$

Dengan Keterangan

- P_{output} = *output power with losses* atau total daya yang didapatkan dari turbin angin
- μ = Efisiensi asli
- P_{wind} = daya yang tersedia dalam angin (watt)

Perhitungan di atas merupakan perhitungan yang akan dilakukan terhadap kedua mesin, yaitu DAWT dan VAWT, sebagai turbin angin secara generik. Namun, dengan adanya perbedaan yang signifikan dari struktur masing-masing turbin angin, terdapat perbedaan yang signifikan dari perhitungan *power output with losses* pada DAWT dan VAWT. Maka dari itu, akan dijabarkan detail perbedaan dari kalkulasi *output* dari masing-masing turbin angin dengan rincian :

- Perbedaan luas sapuan turbin (A)

Selaras dengan arti namanya, VAWT merupakan sebuah turbin angin sumbu vertikal yang memiliki baling-baling yang menghadap ke atas, sedangkan DAWT merupakan turbin angin sumbu horizontal yang memiliki diffuser berbentuk kerucut yang menyelimutinya. Dengan perbedaan struktur kedua turbin ini, tentunya turbin ini memiliki luas sapuan turbin yang berbeda. Rumus luas sapuan turbin (A) dibedakan sebagai berikut:

VAWT	DAWT
$A = D \times H$	$A = \pi \times L^2$
Dengan keterangan : A = Luas sapuan turbin (m^2) D = Diameter (m) H = Tinggi turbin (m)	Dengan keterangan : A = Luas sapuan turbin (m^2) L = Panjang baling-baling (m)

- Faktor peningkatan *boost diffuser* pada DAWT

Diffuser ditambahkan pada DAWT untuk meningkatkan aliran udara yang akan melalui turbin. Diffuser menciptakan area tekanan rendah di belakang turbin, perbedaan



tekanan ini menyebabkan peningkatan kecepatan angin yang melewati baling-balik, maka meningkatkan efisiensi. Rumus yang digunakan untuk menghitung hasil daya DAWT pun memiliki perbedaan dengan menghitung hasil daya turbin biasa,

$$P_{output} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \times C_{eff} \times K_p$$

Dengan keterangan,

K_p = Faktor peningkatan kecepatan aliran udara yang disebabkan oleh diffuser

Penelitian oleh Phillips (2006) menunjukkan bahwa diffuser dengan *Exit-Area-Ratio* (EAR) 2,62 memiliki K_p sebesar 2,2.

$$EAR = \frac{A_E}{A_I} = \frac{\pi D_E^2}{\pi D_I^2}$$

Dengan, A_E ($= \frac{\pi D_E^2}{4}$) dan A_I ($= \frac{\pi D_I^2}{4}$) adalah luas *exit* dan *inlet* diffuser secara berurutan

Menggunakan *inlet* diameter diffuser (D_I) sebesar 0,2 m;

$$A_I = \frac{\pi \times 0,2^2}{4} = 0.03141592654$$

Maka

$$A_E = A_I \times EAR = 0,03141592654 \times 2,62 = 0,08230972752 \text{ m}^2$$

Dari perhitungan tersebut, D_E diffuser adalah:

$$D_E = \sqrt{\frac{4 \times 0,08230972752}{\pi}} = 0.3237282811 = 0,3 \text{ m}$$

Dengan diameter tersebut, K_p sebesar 2,22 bisa digunakan untuk kalkulasi daya turbin.

Pembuktian 1: Daya yang Dihasilkan DAWT dan VAWT

Pembuktian ini mencari data primer guna menentukan daya yang mampu dihasilkan masing masing turbin angin ketika dihadapkan dengan kipas dengan pengaturan yang berbeda-beda Kecepatan angin masing-masing kipas dihitung menggunakan Anemometer Benetech GM816 lalu daya yang dihasilkan masing-masing turbin dihitung dengan Multimeter Digital NJTY T21A.

Tabel 4 Hasil Daya VAWT dan HAWT

Kecepatan Angin (m/s)	Hasil Daya (watt)	
	VAWT	HAWT
1,5	11.0	20.0
3	9.0	40.0
3,9	13.0	42.0
4,8	11.0	57.0



5

12.0

65.0

11



inergyc.ppns.ac.id



inergyc@ppns.ac.id



[@inergyc_ppns](https://www.instagram.com/inergyc_ppns)



Dikarenakan oleh keterbatasan alat yang digunakan, maka pembuktian menggunakan HAWT tanpa diffuser. Hasil daya yang mampu dihasilkan DAWT dapat ditemukan dengan pengalihan dengan K . Maka, hasil daya DAWT ditemukan sebagai berikut,

Tabel 5 Hasil Daya VAWT dan DAWT

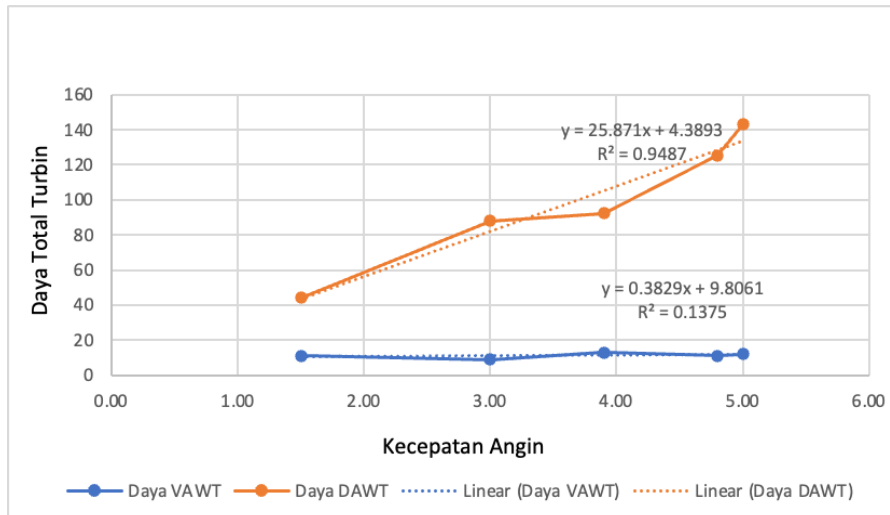
Kecepatan Angin (m/s)	Hasil Daya (watt)	
	VAWT	DAWT
1,5	11.0	44.0
3	9.0	88.0
3,9	13.0	92.4
4,8	11.0	125.4
5	12.0	143.0

Data yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa hasilnya sebanding dengan data sekunder yang ada, mengindikasikan bahwa DAWT mampu menghasilkan daya yang lebih kuat dibandingkan VAWT. Hal ini menegaskan bahwa DAWT memiliki keunggulan signifikan dalam efisiensi konversi energi angin menjadi daya listrik. Temuan ini menjadi alasan diambilnya keputusan untuk menggunakan DAWT dalam rancangan E-COBRA.

Pembuktian 2: Kecepatan Angin Dibandingkan Kecepatan Kendaraan

Pembuktian ini menggunakan Anemometer Benetech GM816 dengan aturan perhitungan m/s serta mencari kecepatan angin rata-rata. Anemometer digunakan sambil mengendarai kendaraan motor dengan kecepatan yang berubah-ubah guna membuktikan bahwa kecepatan angin yang diterima E-COBRA berbanding lurus dengan kecepatan mobil listrik. Lain dari itu, percobaan ini akan membuktikan bahwa DAWT akan mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi mobil listrik.





Gambar 3 Grafik Kecepatan Angin dibandingkan Daya Turbin

Data Processing

Setelah memasukkan hasil eksperimen ke grafik, dapat diidentifikasi tren kecepatan angin terhadap daya total turbin pada eksperimen dengan prototipe turbin angin dan *multitester*. Grafik pada gambar 3 menunjukkan bahwa daya total yang dikeluarkan oleh DAWT memiliki hasil yang secara signifikan lebih tinggi dari VAWT. Garis linear juga telah ditambahkan untuk melihat korelasi dari bertambahnya kecepatan angin terhadap daya yang dikeluarkan oleh turbin. Dari garis linear ini, didapatkan *Pearson Correlation Coefficient* (r) dan persamaan linear yang dapat mengidentifikasi sifat dari korelasi linear tersebut. Secara berurutan, telah didapatkan *Pearson Correlation Coefficient* (r) sebesar 0.9487 dan 0.1375 pada DAWT dan VAWT. Koefisien ini menunjukkan bahwa pada

DAWT, pengaruh naiknya kecepatan angin terhadap daya total turbin memiliki korelasi yang positif tinggi dengan nilai $0.8 < r < 1$, sedangkan pada VAWT, terdapat korelasi yang sangat rendah dari naiknya kecepatan angin dan daya total turbin dengan nilai $0 < r < 0.19$. Dengan hasil koefisien ini, telah didapatkan bahwa persamaan DAWT memiliki korelasi yang tinggi sehingga persamaan tersebut dapat diandalkan untuk memprediksi kecepatan mobil yang diperlukan untuk mencapai minimum daya untuk pengisian mobil listrik, yaitu 2.200 kW. Prediksi mengenai daya minimum yang dibutuhkan untuk mengisi daya mobil akan dilakukan menggunakan persamaan linear dari korelasi yang didapatkan.

Analisis persamaan

Pada analisis garis regresi linear di atas, didapatkan persamaan linear yang merepresentasikan tren dari naiknya kecepatan angin dengan daya total turbin pada turbin VAWT dan DAWT, dengan persamaan berturut-turut $y = 0.3829x + 9.8061$ dan

$y = 25,817x + 4,3893$. Mengingat bahwa daya yang dikeluarkan oleh DAWT lebih

tinggi dari VAWT, penelitian ini akan melanjutkan prediksi perhitungan mengenai kecepatan minimum yang dibutuhkan oleh mobil untuk mengisi daya melalui persamaan linear DAWT, yaitu $y = 25,817x + 4,3893$. Untuk menyesuaikan hasil eksperimen

yang dilakukan dengan turbin angin dengan radius 4 cm dengan radius asli E-COBRA, yaitu 9 cm, akan dilakukan penyetaraan hasil eksperimen dengan cara memperhitungkan skalabilitas luas permukaan turbin asli terhadap turbin prototipe. Skalabilitas luas turbin



$$\text{Perbandingan luas} = \frac{\pi \times r_{\text{turbin asli}}^2}{\pi \times r_{\text{turbin prototipe}}^2}$$

Melalui rumus perbandingan di atas, maka didapatkan skalabilitas luas permukaan sebagai berikut :

$$\text{Perbandingan luas} = \frac{\pi \times 9^2}{\pi \times 4^2} = 5.0625$$

Karena hasil *output power with losses* (p) adalah fungsi dari kecepatan angin dan luas sapuan turbin dengan beberapa koefisien lain, maka secara teoritis, daya yang akan dihasilkan oleh turbin asli akan meningkat 9 kali lipat dari hasil percobaan. Jadi, untuk mengestimasi *output power with losses* pada turbin asli berdasarkan percobaan, hasil dari daya total pada percobaan akan dikalikan dengan hasil perbandingan luas, dengan rincian:

$$P_{\text{turbin asli}} = P_{\text{turbin prototipe}} \times 5.0625$$

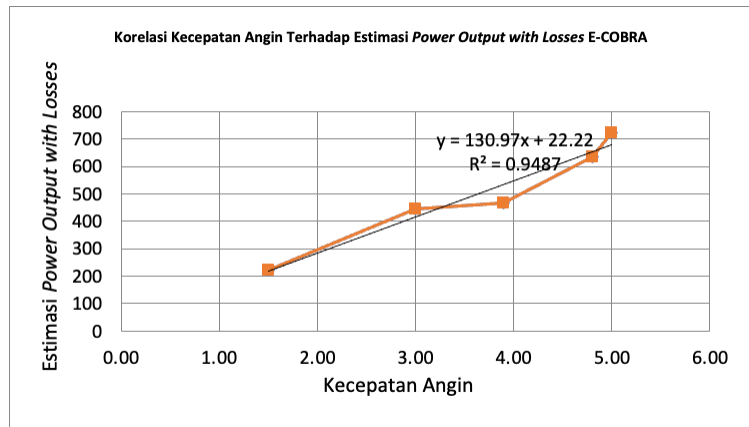
Dari rumus di atas, didapatkan estimasi *power output with losses* ($P_{\text{turbin asli}}$) dari turbin asli dengan hasil berikut :

Tabel 6 Hasil Estimasi Daya DAWT ($P_{\text{turbin asli}}$)

Kecepatan Angin (m/s)	Hasil Daya DAWT (watt)	
	Hasil Eksperimen	Estimasi Perhitungan dengan Skala
1.5	44.0	222.75
3.0	88.0	445.50
3.9	92.4	467.78
4.8	125.4	634.84
5.0	143.0	723.94

Melalui hasil kalkulasi di atas, telah didapatkan estimasi daya yang akan dikeluarkan oleh DAWT E-COBRA pada kecepatan-kecepatan angin tertentu. Selanjutnya, akan dilakukan penyesuaian lagi pada kecepatan angin untuk memprediksi daya yang akan dikeluarkan oleh turbin E-COBRA apabila kecepatan anginnya adalah kecepatan angin di atas kendaraan. Penyesuaian ini akan dilakukan dengan cara mendapatkan persamaan linear dari korelasi kecepatan angin terhadap estimasi *power output with losses* pada turbin asli.





Gambar 4 Grafik Kecepatan Angin Terhadap Estimasi Power Output with Losses

Pada gambar di atas, telah didapatkan fungsi y dari korelasi kecepatan angin terhadap estimasi *power output with losses* pada rancangan final E-COBRA. Dengan koefisien $r = 0.9487$, persamaan yang didapatkan, yaitu $y = 130.97x + 22.22$, bisa menjadi acuan untuk mencari kecepatan minimum yang harus dipenuhi mobil listrik untuk bisa mendapatkan daya sebesar 2.2 kW untuk mengisi daya baterai mobil. Untuk memenuhi persamaan ini, dibutuhkan informasi mengenai kecepatan angin yang ada pada bagian atap mobil, yakni tempat E-COBRA dipasang, terhadap kecepatan mobil.

Berdasarkan persamaan yang didapatkan yakni, $y = 130,97x + 22,22$, dimana y adalah estimasi daya, dan x adalah kecepatan angin. Untuk mengisi baterai mobil listrik, diperlukan daya minimal sebesar 2200 watt. Jika dimasukkan y sebesar 2200, maka dapat ditemukan kecepatan angin minimum.

$$2200 = 130,97x + 22,22$$

$$x = \frac{2177,78}{130,97}$$

$$x = 16,63$$

Maka, agar E-COBRA bisa mengisi daya mobil listrik, diperlukan kecepatan angin minimum 16,63. Untuk melakukan penyesuaian pada kecepatan angin ketika kendaraan bergerak, akan dilakukan eksperimen untuk mengukur kecepatan angin pada ketinggian estimasi 1,6 meter di atas permukaan tanah pada kendaraan yang berjalan. Eksperimen ini akan menggunakan alat Anemometer Benetech GM816 yang dipasang di atas kendaraan pada saat kendaraan bergerak dengan kecepatan konstan. Kecepatan dari eksperimen ini akan divariasikan, yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jam. Berikut adalah detail mengenai eksperimen pembuktian kecepatan angin terhadap kecepatan kendaraan :

Variabel Independen

Tabel 7 Variabel Independen Eksperimen Kecepatan Angin terhadap Kecepatan Kendaraan

Variabel Independen	Deskripsi
Kecepatan Kendaraan	Pada eksperimen ini, kecepatan kendaraan akan divariasikan untuk melihat perubahan kecepatan angin pada atap kendaraan pada kecepatan mobil yang berbeda-beda. Variasi kecepatan kendaraan yang akan dilakukan pada eksperimen ini adalah :





- 10 km/jam
- 20 km/jam
- 30 km/jam
- 40 km/jam
- 50 km/jam

Variabel Dependen

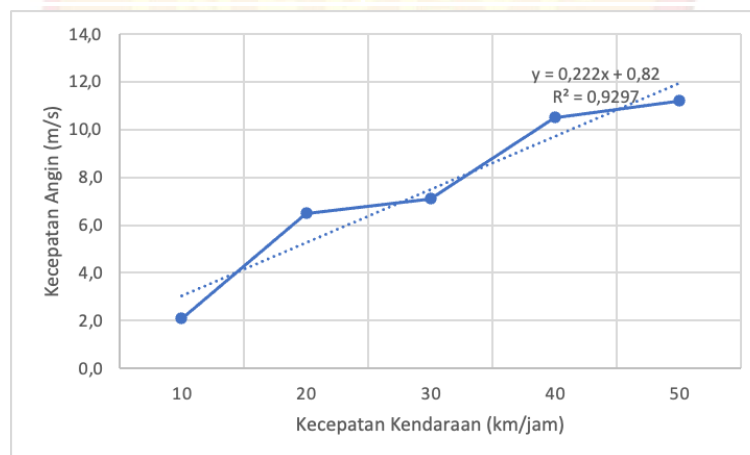
Tabel 7 Variabel Dependen Eksperimen Kecepatan Angin terhadap Kecepatan Kendaraan

Variabel Dependen	Deskripsi
Kecepatan Efisien	Kecepatan efisien adalah kecepatan angin yang melaju pada bagian atap kendaraan. Kecepatan efisien ini akan menjadi landasan variabel kecepatan yang mempengaruhi kinerja turbin. Kecepatan efisien akan bertambah seiring naiknya kecepatan mobil.

Hasil dari pembuktian menunjukkan hasil sebagai berikut,

Tabel 8 Hasil Pembuktian Kecepatan Angin terhadap Kecepatan Kendaraan

Kecepatan Kendaraan (km/jam)	Kecepatan Angin (m/s)
10	2.1
20	6.5
30	7.1
40	10.5
50	11.2



Gambar 4 Grafik Kecepatan Kendaraan Terhadap Kecepatan Angin

Dengan koefisien $r = 0,9297$, maka persamaan ini bisa dijadikan landasan untuk menghitung kecepatan kendaraan yang diperlukan. Maka, dengan y sebesar 16,63, ditemukan kecepatan kendaraan sebagai berikut,
 $16,63 = 0,222x + 0,82$





$$x = \frac{15,81}{0,222}$$

$$x = 71,216$$

Sehingga, persamaan ini menunjukkan bahwa kecepatan minimum yang dibutuhkan agar E-COBRA mampu mengisi daya mobil listrik adalah 71,26 km/jam. Dengan kecepatan rata-rata mobil sebesar 80 km/jam, persamaan ini membuktikan bahwa E-COBRA mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi daya mobil listrik.

Rancangan Final E-COBRA

Temuan dari Analisis data serta kedua Pembuktian menjadi dasar dari pembentukan rancangan E-COBRA. Dimensi E-COBRA ditentukan oleh analisis data eksperimen Phillips (2006). Sementara pilihan turbin didasarkan oleh Analisis Data dan Pembuktian 1, yang membuktikan bahwa DAWT dapat menghasilkan energi yang jauh lebih besar dibandingkan yang dapat dihasilkan oleh VAWT. Sementara, Pembuktian 2 menjadi landasan yang dapat memperkuat rancangan ini, dikarenakan persamaan yang didapatkan membuktikan bahwa rancangan E-COBRA dengan dimensi ini mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi mobil listrik ketika dihadapkan dengan kecepatan angin rata-rata di Indonesia.

Sementara, untuk panjang dari diffuser dapat ditemukan menggunakan sudut divergensi turbin. Berdasarkan penelitian oleh Li et al. (2020), sudut divergensi antara 5° hingga 15° dianggap sebagai geometri optimal bagi diffuser untuk mencapai pemulihan tekanan yang maksimal. Hal ini dikarenakan sudut yang lebih besar dapat menyebabkan pemisahan aliran, sementara sudut yang terlalu kecil tidak akan menghasilkan efek diffuser yang diinginkan.

Dapat ditemukan panjang diffuser menggunakan perbandingan diameter *inlet* dan *exit* serta sudut divergen melalui rumus berikut,

$$L = \frac{D - D_e}{2 \times \tan(\theta)}$$

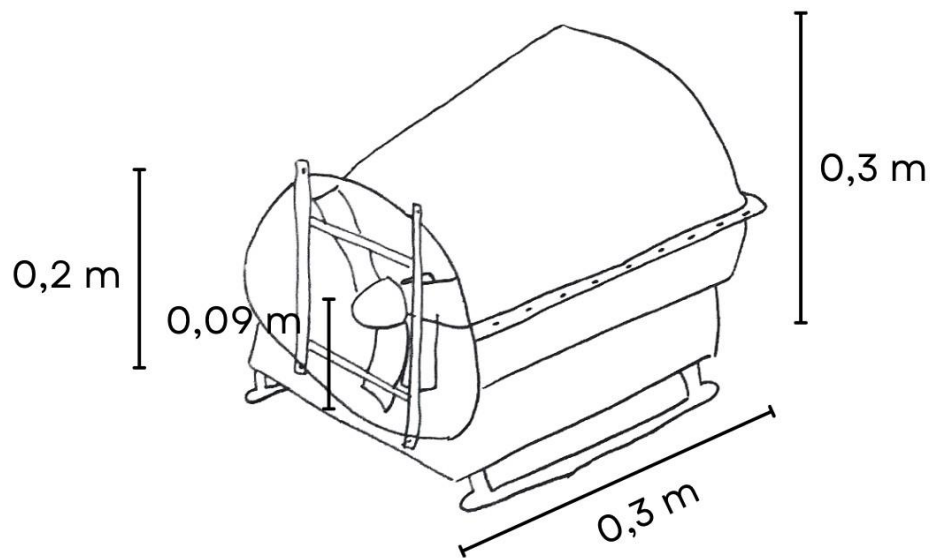
Jika digunakan sudut divergensi sebesar 10°, didapatkan panjang diffuser sebesar berikut,

$$L = \frac{0,3 - 0,2}{2 \times \tan(10)}$$

$$L = \frac{0,1}{2 \times 0,1763} = 0,284 \text{ m}$$

Maka, guna mendapatkan fungsi diffuser yang baik, E-COBRA akan memiliki panjang sebesar 0,284 m, atau 0,3 m.





Gambar 5 Konsep Rancangan E-COBRA

Pada bagian bawah E-COBRA terdapat sebuah pegangan besi, untuk pemasangan E-COBRA, pegangan besi ini akan dikaitkan dengan komponen *roof rack* pada atap mobil, sehingga E-COBRA bisa dilepas pasang dengan mudah. Turbin DAWT akan berada di dalam struktur berupa bingkai dengan rangkaian besi penutup. Rangkaian besi ini bertugas untuk mengamankan turbin dari benda asing berukuran besar. Bingkai ini berguna untuk membuat perbedaan tekanan udara ketika angin masuk dan keluar dari E-COBRA. Perbedaan tekanan udara ini akan membuat vakum sementara yang mampu menyedot lebih banyak udara, sehingga menghasilkan energi yang lebih besar (Quartey & Adzimah, 2014).

KESIMPULAN

Berdasarkan kecepatan mobil minimum yang diperlukan, serta daya yang dihasilkan, E-COBRA dengan DAWT terbukti mampu menjadi teknologi penunjang baterai mobil listrik. Dengan kecepatan minimum 71,26 km/jam, E-COBRA dapat mengisibaterai mobil listrik dengan daya yang setara SPKLU. Teknologi *power bank* ini juga mampu mengatasi masalah perjalanan jarak jauh yang dihadapi oleh mobil listrik, menjaga baterai tetap terisi meskipun sedang melakukan perjalanan jarak jauh. Dengan menggunakan turbin angin, E-COBRA menawarkan listrik dari sumber energi terbarukan, sehingga mampu membatasi penggunaan listrik bersumber PLTU batu bara. Dengan demikian, inovasi ini dapat menjadi langkah maju yang signifikan dalam solusi transportasi berkelanjutan.





DAFTAR PUSTAKA

- Aswardi, Elfizon, & Warman. (2018). Sistem Pengisian Baterai pada Mobil Listrik. Seminar Nasional Teknik Elektro 2018. Retrieved from https://elektro.ub.ac.id/forte/wp-content/uploads/2018/10/B-P012_FORTEI-141-145.pdf
- Ali, P., Younas, A., Understanding and interpreting regression analysis. Correspondence to Ahtisham Younas, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL A1C 5S7, Canada. Correspondence to Ahtisham Younas, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL A1C 5S7, Canada
- Azis, F., Parawangsa, A. N., & Fitri, N. S. N. (2023). Aliran Daya Aktif dan Efisiensi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) secara Stand Alone System. *Jurnal Teknik AMATA*, 4(1), 43–51. <https://doi.org/10.55334/jtam.v4i1.90>
- Brilliyanto, R. (2024, February 23). Mengenal Turbin Angin: Energi Terbarukan yang Menyegarkan. Retrieved from <https://amf.or.id/mengenal-turbin-angin-energi-terbarukan-yang-menyegarkan/>
- Dzaky, A. (2018, March 27). PENJELASAN MOBIL LISTRIK! Retrieved from <https://student-activity.binus.ac.id/himtek/2018/03/27/1206/>
- Hu, X. and Wong, E. T. T. (2011), “A Numerical Study On Rear-spoiler Of Passenger Vehicle” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 637 pp.
- Irawan, Y. H., & Harianto, H. (2019). Numerical simulation of the effect of wind velocity on the diffuser augmented wind turbines performance. *Journal of Energy Mechanical Material and Manufacturing Engineering*, 4(2), 73–82. <https://doi.org/10.22219/jemme.v4i2.9931>
- Li, Z., Moradi, I., Nguyen, Q., Karimipour, A., Afrand, M., Tlili, I., & Incecik, A. (2020). Three-dimensional simulation of wind tunnel diffuser to study the effects of different divergence angles on speed uniform distribution, pressure in outlet, and eddy flows formation in the corners. *Physics of Fluids*, 32(5). <https://doi.org/10.1063/5.0006068>
- Maulana, Y. (2019). PERANCANGAN VERTICAL AXIS WIND TURBINE (VAWT) JENIS STRAIGHT BLADE. *Journal of Industrial Engineering and Operation Management*, 1(2), 347422. <https://doi.org/10.31602/jieom.v1i2.2013>
- Menhub: Transportasi jadi fokus program transisi penggunaan energi terbarukan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (n.d.). Retrieved from <https://dephub.go.id/post/read/menhub--transportasi-jadi-fokus-program-transisi-penggunaan-energi-terbarukan>
- Mera, Z., & Bieker, G. (2023). PERBANDINGAN DAUR HIDUP EMISI GAS RUMAH KACA DARI KENDARAAN BERMOTOR MESIN BAKAR DENGAN KENDARAAN LISTRIK PADA KENDARAAN PENUMPANG DAN RODA DUA DI INDONESIA.





Mobil Listrik Tambah Banyak, PLN Siagakan 1.124 SPKLU Tersebar untuk Para Pemudik - PT PLN (Persero). (2024, April 1). Retrieved from <https://web.pln.co.id/tidak-ada-kategori/2024/03/mobil-listrik-tambah-banyak-pln-siagakan-1-124-spklu-tersebar-untuk-para-pemudik#:~:text=%E2%80%9CPLN%20bersama%20mitra%20telah%20menyiapkan,dengan%20total%20sebanyak%201.124%20unit>.

Mukaka MM. Statistics corner: A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. *Malawi Med J.* 2012 Sep;24(3):69-71. PMID: 23638278; PMCID: PMC3576830.

Naji, M. M., & Jabbar, B. A. (2024). Diffuser augmented wind turbine: A review study. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/5.0191895>

Philips, D. G. (2006), *An Investigation on Diffuser Augmented wind Turbine Design*, Unpublished PhD Thesis, The University of Auckland, pp. 1-334.

Prasetio, W. (2019). Prinsip kerja PLTB (Angin). Ugm. Retrieved from https://www.academia.edu/39024423/Prinsip_Kerja_PLTB_Angin?auto=download

Quartey, G., & Adzimah, S. K. (2014). Generation of electrical power by a wind turbine for charging moving electric cars. *Deleted Journal*, 4(3), 19–29. Retrieved from <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JETP/article/download/11662/12007>

Raksodewanto, A. A. (2020). MEMBANDINGKAN MOBIL LISTRIK DENGAN MOBIL KONVENSIONAL. *TECHNOPEX-2020*. Retrieved from <http://technopex.iti.ac.id/ocs/index.php/tpx20/tpx20/paper/download/331/192>

Ramadhina, N. A., & Najicha, N. F. U. (2022). Regulasi Kendaraan Listrik di Indonesia Sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas. *Jurnal Hukum To-ra Hukum Untuk Mengatur Dan Melindungi Masyarakat*, 8(2), 201–208. <https://doi.org/10.55809/tora.v8i2.126>

Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg.* 2018 May;126(5):1763-1768. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864. PMID: 29481436.

The International Council on Clean Transportation. Retrieved from https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/09/ID-17-%E2%80%93LCA-Indonesia_Bahasa_ES_final.pdf

Winarto, E. R. (2015). Evaluasi Dampak Lingkungan Siklus Hidup PLTU Batubara di Indonesia. Retrieved from <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/90323>

