



Ranah Research:
Journal of Multidisciplinary Research and Development



082170743613 ranahresearch@gmail.com <https://jurnal.ranahresearch.com>

E-ISSN: [2655-0865](https://doi.org/10.38035/rrj.v7i1)
DOI: <https://doi.org/10.38035/rrj.v7i1>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pengembangan Turbin Angin Skala Kecil untuk Energi Terbarukan untuk Daerah Terpencil

Bambang Harianto¹, Mochamad Karjadi²

¹ Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, bharianto70@staff.gunadarma.ac.id

² Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, mkarjadi@Staff.gunadarma.ac.id

Corresponding Author: bharianto70@staff.gunadarma.ac.id¹

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan turbin angin skala kecil yang efisien dan ekonomis untuk daerah terpencil dengan kecepatan angin rendah di Indonesia. Dalam penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif untuk menganalisis literatur terkait pengembangan turbin angin skala kecil dan penggunaannya dalam konteks energi terbarukan di daerah terpencil. Literatur yang relevan diperoleh dari berbagai basis data akademik seperti Google Scholar, ScienceDirect, dan IEEE Xplore, dengan fokus pada penelitian tentang turbin angin sumbu vertikal (VAWT) dan integrasi energi terbarukan. Analisis kritis dilakukan untuk mengidentifikasi tren, teori, metodologi, serta kesenjangan dalam penelitian sebelumnya, guna memahami perkembangan teknologi dan peluang aplikasinya di daerah terpencil. Hasil karya ini yaitu pengembangan turbin angin skala kecil di daerah terpencil merupakan solusi berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan, terutama di wilayah pesisir dan perbukitan. Meskipun biaya awal instalasi cukup tinggi, penggunaan bahan lokal dapat mengurangi biaya dan melibatkan masyarakat dalam perawatan sistem. Tantangan utama adalah memastikan turbin berfungsi optimal pada kecepatan angin rendah. Dengan penelitian dan dukungan pemerintah, teknologi ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan akses listrik dan mendukung transisi energi terbarukan.

Kata kunci: Daerah Terpencil, Energi Terbarukan, Turbin Angin Skala Kecil

Abstract: This study aims to develop efficient and economical small-scale wind turbines for remote areas with low wind speeds in Indonesia. This study uses a qualitative approach to analyze literature related to the development of small-scale wind turbines and their use in the context of renewable energy in remote areas. Relevant literature was obtained from various academic databases such as Google Scholar, ScienceDirect, and IEEE Xplore, with a focus on research on vertical axis wind turbines (VAWT) and renewable energy integration. Critical analysis was conducted to identify trends, theories, methodologies, and gaps in previous research, in order to understand the development of technology and its application opportunities in remote areas. The results of this work are that the development of small-scale wind turbines in remote areas is a sustainable solution to meet renewable energy needs, especially in coastal and hilly areas. Although the initial cost of installation is quite high, the

use of local materials can reduce costs and involve the community in system maintenance. The main challenge is ensuring that the turbine functions optimally at low wind speeds. With research and government support, this technology has great potential to increase electricity access and support the renewable energy transition.

Keywords: Remote Areas, Renewable Energy, Small-Scale Wind Turbines.

PENDAHULUAN

Krisis energi yang dialami dunia dewasa ini mendorong upaya pencarian dan pengembangan sumber-sumber energi terbarukan sebagai alternatif terhadap sumber energi fosil yang semakin menipis (Bachtiar, 2022; Logayah et al., 2023). Energi fosil, seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara, yang selama ini menjadi sumber utama dalam pemenuhan kebutuhan energi global, memiliki keterbatasan jumlah dan ketersediaan. Selain itu, penggunaan energi fosil juga berkontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan seperti tenaga surya, tenaga angin, tenaga air, dan biomassa semakin mendapatkan perhatian dalam rangka menciptakan masa depan energi yang lebih berkelanjutan.

Salah satu energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia, adalah energi angin (Al Hakim, 2020; Mulkan, 2022; Rumbayan, 2020). Potensi energi angin di Indonesia sangat melimpah, terutama di wilayah pesisir, daerah perbukitan, dan dataran tinggi yang memiliki angin dengan kecepatan cukup untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik (Al Hakim, 2020). Namun, di banyak daerah terpencil, pemanfaatan energi angin masih sangat minim karena berbagai kendala teknis dan non-teknis, seperti keterbatasan teknologi, biaya tinggi, serta minimnya infrastruktur pendukung.

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi oleh negara-negara kepulauan seperti Indonesia adalah penyediaan akses listrik yang merata bagi seluruh penduduknya. Rasio elektrifikasi di Indonesia terus meningkat dalam beberapa dekade terakhir, namun masih terdapat banyak wilayah terpencil yang belum teraliri listrik secara memadai, terutama di wilayah-wilayah yang secara geografis sulit dijangkau, seperti pulau-pulau kecil dan daerah pegunungan (Andika, 2018; Putri et al., 2022).

Dalam beberapa dekade terakhir, energi terbarukan telah menjadi fokus utama dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengatasi dampak negatifnya terhadap lingkungan. Menurut International Renewable Energy Agency (IRENA), energi terbarukan memiliki peran kunci dalam mengurangi emisi karbon dan menjaga kelestarian lingkungan. Tenaga angin, sebagai salah satu jenis energi terbarukan, memiliki banyak keunggulan, termasuk ketersediaan yang melimpah, biaya operasi yang rendah, dan dampak lingkungan yang minimal dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga fosil. Selain itu, angin adalah sumber energi yang dapat diperbarui, yang berarti tidak akan habis selama kondisi atmosfer terus menghasilkan aliran udara.

Di Indonesia, pengembangan energi angin dapat menjadi solusi penting untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik konvensional. Menurut Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), beberapa wilayah di Indonesia, terutama di pesisir selatan Jawa, Nusa Tenggara, dan wilayah perbukitan, memiliki potensi angin yang cukup untuk dikembangkan menjadi sumber energi listrik. Kecepatan angin di wilayah-wilayah ini berkisar antara 3 hingga 5 meter per detik, yang tergolong kecepatan angin rendah hingga sedang. Meskipun kecepatan angin di Indonesia umumnya tidak setinggi negara-negara di Eropa atau Amerika Utara, teknologi turbin angin skala kecil yang dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah sangat cocok untuk diaplikasikan di Indonesia. Turbin angin skala kecil dirancang untuk menghasilkan daya listrik yang lebih rendah dibandingkan turbin angin besar yang digunakan di ladang

angin. Namun, keunggulannya adalah kemampuan untuk dipasang di daerah dengan kecepatan angin rendah dan kebutuhan listrik yang tidak terlalu besar, seperti rumah tangga, sekolah, dan pusat kesehatan di daerah terpencil. Selain itu, turbin angin skala kecil juga dapat digunakan untuk pemompaan air di bidang pertanian, penggilingan, atau produksi garam di pesisir pantai.

Pengembangan teknologi turbin angin skala kecil terus dilakukan untuk memastikan bahwa turbin dapat bekerja dengan optimal pada kondisi kecepatan angin rendah, yang umumnya ditemukan di banyak wilayah terpencil di Indonesia. Salah satu jenis turbin yang banyak digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah adalah turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) (Johari et al., 2018). Selain memberikan solusi bagi daerah terpencil yang belum teraliri listrik, pengembangan turbin angin skala kecil juga memberikan berbagai manfaat lingkungan dan ekonomi. Dalam konteks keberlanjutan, penggunaan energi angin tidak menghasilkan polusi udara maupun emisi gas rumah kaca yang berbahaya bagi lingkungan. Hal ini menjadikan turbin angin sebagai alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga diesel yang umum digunakan di daerah-daerah terpencil.

Studi pendahuluan yaitu hasil dari perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia menunjukkan bahwa teknologi turbin angin skala besar bekerja efektif pada kecepatan angin 5-20 m/s, dengan proyek PLT Angin Sidrap berkapasitas 75 MW yang diresmikan pada Juli 2018 sebagai salah satu contoh suksesnya (Prasetyo, 2019). Meskipun angin di wilayah perkotaan memiliki karakteristik yang lebih kompleks dan turbulen, terdapat potensi penerapan turbin angin dengan desain yang disesuaikan untuk kondisi tersebut, seperti turbin yang terintegrasi dengan bangunan (Nurdin, 2022). Rancang bangun turbin angin skala kecil di Universitas Teuku Umar adalah terciptanya desain dan perakitan pembangkit listrik tenaga angin tipe horizontal yang menggunakan software SketchUp Pro 2016 dan AutoCAD, dengan komponen seperti kerangka, rumah turbin, generator, mekanisme yaw, dan hub (Saputra et al., 2019).

Meski penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi penggunaan turbin angin skala kecil untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah terpencil, kebanyakan studi masih berfokus pada wilayah dengan kecepatan angin tinggi, sedangkan penelitian yang secara spesifik mengkaji efisiensi turbin pada kecepatan angin rendah dan kondisi geografis khas Indonesia masih terbatas. Selain itu, aspek keberlanjutan ekonomi dan teknologi yang berbasis bahan lokal belum dikaji secara mendalam, terutama dalam konteks pengurangan biaya dan keterlibatan masyarakat lokal dalam instalasi dan pemeliharaan. Penelitian ini menawarkan inovasi dalam pengembangan turbin angin skala kecil yang dirancang khusus untuk bekerja pada kecepatan angin rendah di wilayah terpencil Indonesia, dengan memanfaatkan bahan lokal dan teknologi sederhana yang dapat diakses oleh masyarakat setempat. Selain itu, penelitian ini mengintegrasikan pendekatan keberlanjutan melalui sistem hybrid antara turbin angin dan panel surya, yang belum banyak diterapkan dalam konteks geografis dan kondisi lingkungan Indonesia.

Penelitian ini sangat relevan dengan upaya global dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung transisi ke energi terbarukan, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Penggunaan turbin angin skala kecil sebagai solusi energi terbarukan di daerah terpencil dapat meningkatkan rasio elektrifikasi dan kesejahteraan masyarakat yang selama ini terpinggirkan dari akses energi. Penelitian ini juga signifikan dalam menciptakan model energi berkelanjutan yang dapat direplikasi di wilayah-wilayah dengan karakteristik serupa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan turbin angin skala kecil yang efisien dan ekonomis untuk daerah terpencil dengan kecepatan angin rendah di Indonesia.

METODE

Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kualitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis literatur terkait pengembangan turbin angin skala kecil serta penggunaannya dalam konteks energi terbarukan di daerah terpencil (Kusumastuti & Khoiron, 2019). Proses ini dimulai dengan pencarian sumber-sumber literatur dari jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, dan artikel konferensi yang relevan dengan topik penelitian. Sumber-sumber literatur diperoleh dari basis data akademik terkemuka, seperti Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, dan ResearchGate. Kriteria pemilihan literatur meliputi penelitian yang fokus pada turbin angin skala kecil, kecepatan angin rendah, energi terbarukan, serta implementasi teknologi di daerah terpencil, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia.

Setelah proses pencarian, literatur yang dipilih dianalisis secara kritis untuk mengidentifikasi tren utama, teori yang digunakan, metodologi, hasil, serta kesenjangan dalam penelitian sebelumnya. Penelitian juga berfokus pada literatur yang membahas berbagai desain turbin angin, khususnya turbin sumbu vertikal (VAWT) yang dianggap paling cocok untuk kondisi kecepatan angin rendah. Selain itu, tinjauan juga mencakup penelitian yang membahas integrasi sistem energi terbarukan, seperti kombinasi turbin angin dengan panel surya. Data yang terkumpul kemudian dikelompokkan berdasarkan tema-tema utama untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif terkait perkembangan teknologi turbin angin skala kecil dan peluang aplikasinya di daerah terpencil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan turbin angin skala kecil sebagai solusi energi terbarukan di daerah terpencil menghadapi berbagai tantangan, baik dari segi teknis maupun non-teknis. Meskipun teknologi ini berpotensi besar untuk menyediakan sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, ada beberapa kendala yang perlu diatasi agar penerapannya dapat berhasil.

Salah satu permasalahan utama adalah kecepatan angin yang rendah di banyak daerah terpencil, terutama di wilayah pesisir dan pedesaan. Kecepatan angin di daerah-daerah ini umumnya berada pada kisaran 3-5 meter per detik, yang tergolong rendah untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar. Sebagian besar turbin angin dirancang untuk beroperasi dengan kecepatan angin yang lebih tinggi. Oleh karena itu, turbin angin skala kecil perlu didesain khusus agar tetap dapat bekerja secara efisien meskipun dalam kondisi kecepatan angin yang rendah (Nurrohimi, 2019). Ini membutuhkan teknologi yang mampu menangkap energi dari angin dengan kecepatan minimum, dan desain yang lebih adaptif terhadap lingkungan lokal.

Selain tantangan teknis terkait kecepatan angin, biaya awal yang tinggi juga menjadi hambatan signifikan bagi adopsi teknologi turbin angin skala kecil di daerah terpencil. Masyarakat di daerah tersebut, terutama di pedesaan, sering kali memiliki keterbatasan dalam hal modal investasi. Padahal, untuk memasang sistem turbin angin yang efisien, dibutuhkan investasi awal yang cukup besar, meliputi pembelian turbin, instalasi, hingga biaya pemeliharaan (Hasibuan et al., 2023; Susilo et al., 2019). Meskipun dalam jangka panjang, energi angin terbukti lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar diesel atau perluasan jaringan listrik konvensional, tingginya biaya awal ini menjadi kendala utama bagi masyarakat lokal untuk beralih ke energi terbarukan.

Pemeliharaan dan teknologi juga menjadi aspek penting dalam keberhasilan penerapan turbin angin di daerah terpencil. Banyak turbin angin skala kecil memerlukan teknologi khusus serta keahlian teknis untuk operasional dan pemeliharaannya (Sugeng et al., 2023). Di daerah terpencil, masyarakat setempat sering kali kesulitan dalam merawat turbin angin tanpa dukungan teknis yang memadai. Ketersediaan suku cadang dan teknisi ahli juga terbatas di wilayah ini, sehingga jika terjadi kerusakan atau gangguan operasional, turbin angin bisa tidak berfungsi dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, diperlukan

pelatihan dan transfer pengetahuan kepada masyarakat setempat agar mereka mampu melakukan perawatan dasar terhadap turbin angin yang dipasang di daerah mereka.

Permasalahan lain adalah penerapan turbin angin yang tidak sesuai dengan kondisi geografis dan iklim setempat (Andianti, 2022; Masjhoer et al., 2023). Banyak proyek pengembangan energi angin yang menggunakan desain turbin standar, seperti turbin angin dengan sumbu horizontal yang membutuhkan kecepatan angin tinggi untuk beroperasi secara optimal. Namun, di daerah terpencil yang memiliki kecepatan angin rendah, turbin jenis ini tidak akan bekerja secara efisien. Oleh karena itu, desain turbin yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi lokal, baik dari segi bentuk, ukuran, maupun orientasinya terhadap angin. Misalnya, turbin angin dengan sumbu vertikal mungkin lebih cocok untuk daerah dengan kecepatan angin rendah dan fluktuatif.

Mijibarahman & Irawan, (2020) bahwa Turbin angin adalah perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Prinsip dasar ini telah digunakan selama berabad-abad, tetapi perkembangan teknologi modern membuat turbin angin menjadi lebih efisien dan efektif dalam menghasilkan listrik dari sumber energi terbarukan (Mijibarahman & Irawan, 2020; Nakhoda & Saleh, 2017).

Ada dua jenis utama turbin angin yang paling umum digunakan yaitu Turbin Angin Sumbu Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT). Turbin HAWT adalah jenis turbin angin yang paling banyak digunakan di aplikasi skala besar, seperti ladang angin komersial. Pada HAWT, poros utama turbin harus sejajar dengan arah angin agar berfungsi secara optimal (Nakhoda & Saleh, 2017). Ini berarti turbin ini harus memiliki sistem orientasi yang memungkinkan turbin untuk berputar mengikuti arah angin. HAWT umumnya lebih efisien pada lokasi dengan kecepatan angin yang tinggi dan stabil.

Di sisi lain, VAWT tidak memerlukan orientasi khusus terhadap arah angin. Karena desainnya yang vertikal, turbin ini dapat bekerja dengan baik meskipun angin datang dari berbagai arah. Oleh karena itu, VAWT lebih cocok untuk wilayah dengan kecepatan angin yang lebih rendah dan tidak stabil, seperti di beberapa daerah terpencil. Desain VAWT juga memungkinkan untuk dipasang lebih dekat ke tanah, yang dapat mengurangi biaya pemasangan dan pemeliharaan.

Pengembangan turbin angin modern tidak lepas dari kontribusi tokoh-tokoh penting seperti Poul la Cour, seorang ilmuwan Denmark yang memiliki peran penting dalam pengembangan teknologi turbin angin. Pada awal abad ke-20, la Cour mengembangkan turbin angin yang digunakan untuk pengisian baterai dan secara signifikan memajukan teknologi energi angin modern (Maychel et al., 2019).

Dalam konteks turbin angin skala kecil, teknologi ini dirancang untuk menghasilkan daya yang lebih sedikit dibandingkan dengan turbin besar yang digunakan di ladang angin komersial (Arifin et al., 2018; Nakhoda & Saleh, 2017). Namun, turbin angin skala kecil memiliki keunggulan tersendiri karena lebih cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil. Daerah-daerah ini, seperti wilayah pedesaan atau pesisir, sering kali memiliki kecepatan angin yang lebih rendah, sehingga turbin angin skala kecil harus didesain agar tetap efektif meskipun dalam kondisi tersebut. Penggunaan turbin angin skala kecil di daerah terpencil juga dapat membantu masyarakat setempat mengakses listrik tanpa perlu bergantung pada jaringan listrik utama.

Dalam konteks energi terbarukan secara umum, energi angin adalah salah satu sumber daya yang dapat diperbarui secara alami (Mustika, 2020). Energi terbarukan merujuk pada sumber energi yang terus tersedia dan dapat dimanfaatkan tanpa habis, seperti angin, matahari, dan air. Salah satu keunggulan utama dari energi terbarukan adalah keberlanjutannya serta dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan energi fosil. Dalam hal ini, Dines Ginting juga menekankan pentingnya energi terbarukan di daerah

terpencil, di mana jaringan listrik konvensional tidak tersedia. Sistem energi terbarukan, termasuk tenaga angin, menjadi solusi penting untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat di daerah-daerah ini.

Daerah terpencil di Indonesia sering kali terletak jauh dari pusat infrastruktur listrik utama, sehingga memerlukan solusi energi yang mandiri dan terjangkau. Turbin angin skala kecil sangat cocok untuk daerah-daerah seperti pesisir pantai atau perbukitan yang memiliki potensi angin yang cukup. Namun, salah satu tantangan utama dalam penerapan teknologi turbin angin di daerah terpencil adalah kecepatan angin yang rendah (Nakhoda & Saleh, 2017). Banyak wilayah terpencil memiliki kecepatan angin yang tidak ideal untuk turbin besar, sehingga diperlukan desain turbin yang dapat memaksimalkan energi meskipun dalam kondisi kecepatan angin yang terbatas.

Kecepatan angin yang terbatas di daerah terpencil menjadi salah satu tantangan utama dalam pengembangan turbin angin skala kecil sebagai sumber energi terbarukan. Berdasarkan hasil pengukuran di beberapa wilayah terpencil di Indonesia, seperti di wilayah pesisir dan daerah perbukitan, kecepatan angin rata-rata berada di kisaran 3-5 meter per detik. Kecepatan ini tergolong rendah dan tidak ideal untuk turbin angin besar yang umumnya memerlukan angin yang lebih kuat untuk beroperasi secara optimal. Oleh karena itu, teknologi turbin angin yang diterapkan di wilayah dengan kecepatan angin rendah harus dirancang khusus, dengan kemampuan untuk memulai putaran pada torsi rendah dan tetap mempertahankan efisiensi tinggi untuk menghasilkan daya listrik yang cukup.

Salah satu solusi yang paling tepat untuk kondisi kecepatan angin rendah ini adalah penggunaan turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) (Afidah et al., 2023; Johari et al., 2018; Kumar et al., 2018). Berbeda dengan turbin angin sumbu horizontal yang memerlukan pengaturan untuk mengikuti arah angin, VAWT mampu beroperasi tanpa perlu pengaturan arah angin, sehingga lebih fleksibel dalam menghadapi variasi kecepatan dan arah angin yang sering terjadi di daerah terpencil. Efisiensi VAWT dalam menangkap energi angin yang rendah namun fluktuatif menjadikannya pilihan yang cocok untuk diaplikasikan di wilayah seperti pedesaan dan pesisir Indonesia.

Efektivitas turbin angin skala kecil telah diuji di berbagai wilayah terpencil, dan hasilnya menunjukkan bahwa turbin angin sumbu vertikal, terutama tipe Savonius, mampu menghasilkan daya listrik yang stabil meskipun pada kecepatan angin rendah. Uji coba ini melibatkan berbagai jenis desain turbin, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa turbin dengan geometri sudu tipe L dan tipe U memiliki performa yang baik dalam menghasilkan listrik secara konsisten pada kecepatan angin 3 hingga 5 meter per detik. Efisiensi turbin sumbu vertikal seperti ini sangat memadai untuk memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga, terutama penerangan di daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional.

Selain itu, keberhasilan pengembangan turbin angin skala kecil di daerah terpencil juga sangat bergantung pada penggunaan sumber daya lokal. Beberapa proyek telah memanfaatkan bahan-bahan yang tersedia di sekitar, seperti limbah bangunan atau suku cadang kendaraan bermotor yang tidak terpakai, untuk membuat turbin angin yang fungsional. Pendekatan ini tidak hanya membantu menekan biaya produksi, tetapi juga memungkinkan masyarakat setempat untuk berperan dalam pembangunan dan pemeliharaan turbin tersebut. Dengan demikian, turbin angin yang dibuat dari sumber daya lokal lebih mudah dipelihara dan diperbaiki oleh masyarakat tanpa harus bergantung pada tenaga ahli dari luar daerah.

Lebih lanjut, efektivitas pengembangan turbin angin skala kecil semakin optimal apabila diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan lain, seperti panel surya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem hibrida angin-surya dapat memberikan suplai energi yang lebih stabil, terutama di daerah dengan kondisi cuaca yang berubah-ubah. Ketika kecepatan angin menurun, panel surya dapat mengisi kekosongan energi, sehingga kebutuhan listrik dapat tetap terpenuhi. Kombinasi antara turbin angin dan panel surya ini

memanfaatkan potensi energi alam yang ada dan memberikan solusi berkelanjutan bagi daerah terpencil yang sulit dijangkau jaringan listrik konvensional.

Pengembangan turbin angin skala kecil di daerah terpencil memang memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang mandiri dan berkelanjutan. Namun, di balik potensinya, terdapat sejumlah tantangan teknologi yang perlu diatasi agar implementasi turbin ini berjalan lebih efektif. Salah satu tantangan utama adalah keterbatasan teknologi dalam memanfaatkan angin berkecepatan rendah secara optimal, yang umumnya ditemukan di daerah terpencil. Untuk mengatasi tantangan ini, teknologi seperti Savonius Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) menawarkan solusi yang lebih efisien. Turbin jenis ini dirancang untuk beroperasi dengan baik meskipun angin berkecepatan rendah, dan keunggulannya terletak pada kemampuannya untuk bekerja tanpa memerlukan sistem pengarah angin yang kompleks. Hal ini membuat Savonius VAWT lebih sederhana dan cocok untuk diterapkan di lingkungan yang memiliki angin tidak stabil dan kecepatan angin yang rendah.

Penerapan turbin angin skala kecil juga membawa banyak manfaat bagi masyarakat di daerah terpencil. Dengan adanya akses ke listrik yang dihasilkan dari energi angin, masyarakat dapat mengalami peningkatan kualitas hidup secara signifikan. Ketersediaan listrik yang ramah lingkungan dan mandiri dari jaringan utama memungkinkan masyarakat di daerah terpencil untuk lebih produktif dan meningkatkan taraf hidup. Selain itu, dibandingkan dengan generator diesel konvensional yang kerap digunakan di daerah terpencil, turbin angin memiliki biaya operasional yang lebih rendah. Penggunaan turbin angin tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga membantu menekan biaya pengeluaran masyarakat dalam jangka panjang.

Namun, tantangan lain yang masih harus dihadapi adalah biaya awal yang tinggi. Pembuatan turbin angin skala kecil memerlukan investasi awal yang tidak sedikit, yang bagi masyarakat di daerah terpencil bisa menjadi beban finansial. Meski demikian, upaya untuk mengurangi biaya ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya lokal dalam proses pembangunan. Misalnya, infrastruktur fisik seperti menara dan fondasi dapat dibangun menggunakan bahan-bahan lokal, sementara komponen yang lebih kompleks seperti generator dan sistem kontrol angin mungkin perlu didatangkan dari luar. Keterlibatan komunitas dalam proses pembuatan dan pemeliharaan juga dapat menurunkan biaya, sekaligus memberdayakan masyarakat setempat dalam mengelola sumber energi mereka sendiri.

Di masa depan, potensi pengembangan turbin angin skala kecil masih sangat terbuka, terutama jika riset lebih lanjut dilakukan untuk meningkatkan efisiensi desain sudu dan rotor. Pengembangan teknologi pengendalian otomatis dan sistem pemantauan kecepatan angin dapat membantu memaksimalkan kinerja turbin dalam berbagai kondisi cuaca. Selain itu, penggunaan sistem energi hibrida, yang menggabungkan energi angin dan energi surya, dapat menjadi solusi yang lebih andal dan stabil untuk memenuhi kebutuhan energi di daerah terpencil. Dengan demikian, sistem ini akan lebih mampu menghadapi fluktuasi alam, seperti ketika kecepatan angin rendah atau ketika matahari tertutup awan.

KESIMPULAN

Pengembangan turbin angin skala kecil di daerah terpencil merupakan solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi terbarukan. Wilayah terpencil sering kali kesulitan mengakses listrik dari jaringan utama, menjadikan turbin angin sebagai alternatif yang ideal. Turbin angin skala kecil dirancang untuk beroperasi pada kecepatan angin rendah yang umumnya ditemukan di daerah pesisir dan perbukitan, sehingga cocok untuk kondisi geografis Indonesia. Dengan memanfaatkan energi angin yang melimpah, teknologi ini dapat membantu memenuhi kebutuhan listrik rumah tangga, penerangan, hingga kebutuhan irigasi di daerah pertanian. Meskipun demikian, tantangan yang dihadapi tidak sedikit. Biaya awal instalasi turbin, terutama untuk masyarakat pedesaan yang memiliki

keterbatasan dana, masih cukup tinggi. Selain itu, teknologi yang tersedia perlu terus dikembangkan agar turbin dapat berfungsi optimal pada kecepatan angin rendah. Namun, penggunaan bahan-bahan lokal untuk membangun komponen turbin, seperti baling-baling dan menara, dapat membantu menekan biaya produksi dan meningkatkan partisipasi masyarakat setempat dalam perawatan sistem. Dengan penelitian lebih lanjut dan dukungan pemerintah, pengembangan turbin angin skala kecil memiliki potensi besar untuk diterapkan di wilayah-wilayah terpencil. Hal ini tidak hanya menyediakan akses listrik, tetapi juga mendukung transisi menuju energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Implikasi dari pengembangan turbin angin skala kecil di daerah terpencil adalah peningkatan akses listrik yang dapat mendukung aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat, serta mendorong penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Untuk itu, rekomendasi yang dapat diberikan adalah meningkatkan kolaborasi antara pemerintah, lembaga penelitian, dan masyarakat lokal dalam penelitian dan pengembangan teknologi turbin angin, serta memberikan pelatihan untuk pengelolaan dan pemeliharaan sistem energi ini. Namun, limitasi yang dihadapi mencakup tingginya biaya awal instalasi dan keterbatasan dalam pengembangan teknologi yang sesuai dengan kondisi kecepatan angin rendah, sehingga perlu upaya lebih lanjut untuk menemukan solusi yang efektif dan terjangkau.

REFERENSI

- Afidah, Z., Yushardi, Y., & Sudarti, S. (2023). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan Turbin Angin Sumbu Vertikal di Kecamatan Sangkapura Kabupaten Gresik. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 7(1), 8–14.
- Al Hakim, R. R. (2020). Model energi Indonesia, tinjauan potensi energi terbarukan untuk ketahanan energi di Indonesia: Sebuah ulasan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1).
- Andianti, P. W. (2022). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sebagai Alternatif Penerangan Jalan Di Pantai Bambang Kabupaten Lumajang. *Pariwisata Budaya: Jurnal Ilmiah Agama Dan Budaya*, 7(2), 123–130.
- Andika, S. W. (2018). *Perancangan Turbin Kaplan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTP) dengan Head 2 s/d 3 m dan Optimalisasi Daya antara 2 s/d 5 kW*. Universitas Andalas.
- Arifin, Z., Suyanto, H., & Aziz, H. (2018). Analisis kelayakan turbin angin kecepatan rendah tipe NT1000W di wilayah terpencil. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 84–93.
- Bachtiar, A. (2022). Krisis Ekonomi Dunia 2022. *Jurnal Ilmu Ekonomi Pembangunan*, 18(2).
- Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Sayuti, M. (2023). *Pemanfaatan Energi Angin Untuk Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil*. Feniks Muda Sejahtera.
- Johari, M. K., Jalil, M., & Shariff, M. F. M. (2018). Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT). *International Journal of Engineering and Technology*, 7(4.13), 74–80.
- Kumar, R., Raahemifar, K., & Fung, A. S. (2018). A critical review of vertical axis wind turbines for urban applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 281–291.
- Kusumastuti, A., & Khoiron, A. M. (2019). *Metode penelitian kualitatif*. Lembaga Pendidikan Sukarno Pressindo (LPSP).
- Logayah, D. S., Rahmawati, R. P., Hindami, D. Z., & Mustikasari, B. R. (2023). Krisis Energi Uni Eropa: Tantangan dan Peluang dalam Menghadapi Pasokan Energi yang Terbatas. *Hasanuddin Journal of International Affairs*, 3(2), 102–110.
- Masjhoer, J. M., Haryanto, E., Suwandojo, D. P. E. H., & Mazaya, A. F. A. (2023). Pelatihan Pengelolaan Wisata Berbasis Teknologi Tepat Guna Di Kelurahan Krambilsawit, Saptosari, Gunung Kidul. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada*

- Masyarakat*, 4, 382–394.
- Maychel, R., Mangindaan, G. M. C., & Tumaliang, H. (2019). Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Likupang. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(1), 15–20.
- Mijibarahman, M., & Irawan, H. (2020). Kajian Eksperimental Pengaruh Geometri Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Atap Rumah Berbasis Kecepatan Angin Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Tahun 2020 (SENASTIKA 2020)*.
- Mulkan, A. (2022). Analisis pemanfaatan energi angin sebagai sumber pembangkit energi listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik UNIDA*, 3(1), 74–83.
- Mustika, L. (2020). *Pengembangan Media Konversi Energi Angin Menjadi Energi Listrik*.
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2017). Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga Di Daerah Pesisir Pantai. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 7(1), 20–28.
- Nurdin, A. (2022). Kajian Potensi dan Pengembangan Turbin Angin Daerah Urban. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 11(1), 18–23.
- Nurrohman, A. (2019). Pembangkit listrik tenaga hibrid sebagai solusi kelistrikan di daerah terpencil. *Sumber*, 4, 46.
- Prasetyo, A. (2019). Studi potensi penerapan dan pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro*, 1(1).
- Putri, T. W. O., Senen, A., Widyastuti, C., Yasser, R., Batih, H., & Arifin, Z. (2022). Implementasi Portable Power dengan Sistem Pengisian Energi Listrik Tenaga Surya di Kampung Gadog, Desa Sukamahi, Kec. Sukaresmi, Kab. Cianjur, Jawa Barat. *TERANG*, 4(2), 187–200.
- Rumbayan, M. (2020). Diseminasi pembelajaran energi terbarukan turbin angin pada masyarakat di Desa Kiama Kepulauan Talaud. *IKRA-ITH ABDIMAS*, 3(3), 79–83.
- Saputra, M., Kurniawan, R., & Munawir, A. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Skala Kecil Untuk Kawasan Kampus Univ. Teuku Umar. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 5(1).
- Sugeng, U. M., Hadi, V., & Setiadi, B. (2023). Analisis Perbandingan 2 Dan 3 Blade Turbin Angin Kecil Sumbu Vertikal Tipe Savonius. *SAINSTECH: JURNAL PENELITIAN DAN PENGKAJIAN SAINS DAN TEKNOLOGI*, 33(4).
- Susilo, S., Widodo, B., Silalahi, E. M., & Priyono, A. (2019). Pengaruh jumlah bilah dan sudut pasang terhadap daya turbin angin H-Darrieus termodifikasi sebagai pembangkit tenaga listrik skala rumah tangga. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 12(2), 92–98.