



Jenis Artikel: *review research*

Prinsip Kerja Gerak Melingkar pada Kincir Angin: Sebuah Kajian Fisika Sekolah

Adela Zulfa Sabila¹, Dedeh Sukmawati¹, Revania Risang Ayu¹, Nana Nana¹

¹ Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Siliwangi Jl. Siliwangi No. 24 Tasikmalaya Jawa Barat Indonesia 46115

Corresponding e-mail: nana@unsil.ac.id

KATA KUNCI: Gerak melingkar, kincir angin.

ABSTRAK. Salah satu cara memperoleh energi alternatif yaitu dengan menggunakan kincir angin. Kincir angin mengubah energi angin menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan menjelaskan hubungan antara konsep gerak melingkar pada prinsip kerja kincir angin. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode studi pustaka. Diharapkan kajian ini berkontribusi pada pengembangan kajian fisika sekolah.

Diserahkan: 27 Mei 2021

Direvisi: 05 Juni 2021

Diterima: 06 Juni 2021

Diterbitkan: 30 Juli 2021

Terbitan daring: 06 Juli 2021

1. Pendahuluan

Menurut Azmi (2014), ketahanan energi dianggap penting karena energi merupakan komponen penting dalam produksi barang dan jasa. Segala bentuk gangguan yang dapat menghambat ketersediaan pasokan energi dalam bentuk bahan bakar primer (BBM, gas dan batubara) maupun kelistrikan dapat menurunkan produktivitas ekonomi suatu wilayah dan jika magnitude gangguan sampai pada tingkat nasional dapat membuat target pertumbuhan ekonomi meleset dari yang ditetapkan.

Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Berdasarkan data *Global Wind Energy Council* (GWEC), pada 2017 total kapasitas terpasang PLTB di seluruh dunia mencapai 539,123 GW. Sementara, 8 negara terbesar pengguna tenaga angin dunia di 2017 di antaranya: 1). China, dengan total kapasitas terpasang 188,39 GW. 2). Amerika Serikat, dengan total kapasitas terpasang 89,07 GW. 3). Jerman, dengan total kapasitas terpasang 56,13 GW. 4). India, dengan total kapasitas terpasang 32,84 GW. 5). Inggris, dengan total kapasitas terpasang 18,87 GW. 6). Prancis, dengan total kapasitas terpasang 13,75 GW. 7). Brasil, dengan total kapasitas terpasang 12,76 GW. 8). Kanada, dengan total kapasitas terpasang 12,23 GW.

Meskipun belum banyak, di Indonesia sudah ada beberapa upaya dalam memanfaatkan energi angin. Pemanfaatan tersebut diantaranya: Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat melimpah. Di Indonesia sendiri sudah terdapat beberapa upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan energi angin, diantaranya: 1). erencanaan pembangkit listrik tenaga hibrid energi angin dan surya di gedung batu bara Universitas Sriwijaya Inderalaya Sumatera Selatan (Al Huda, 2018). 2). Pemanfaatan potensi tenaga angin di atas bangunan bertingkat di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau (Azirudin, 2019). 3). Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi penerangan jalan (Aziz, 2021). 4). Optimalisasi kapasitas energi angin dan matahari dengan konfigurasi mikrogrid berdasarkan karakteristik beban (Giyatno, 2021). 5). Pemanfaatan Potensi Energi Angin di Mangunharjo Semarang Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Skala Mikro (Hendrawati, 2021). 6). Analisis sistem *hybrid* energi matahari dan energi angin untuk pendingin di kapal penangkap ikan (Lewi, 2021). 7). Pemanfaatan turbin angin vertikal pada sepeda motor sebagai pengisi daya *portable* (Mahardhika, 2022). 8). Pengembangan pembangkit listrik alternatif melalui pemanfaatan kincir angin savonius untuk pengisian baterai bagi nelayan kota Jayapura (Taba, 2020). 9). Pembangkit listrik *hybrid* tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di Sumatera (Tharo, 2019). 10). Pemanfaatan tenaga angin sebagai pelapis energi surya pada pembangkit listrik tenaga hibrid di Pulau Wangi-Wangi (Widyanto, 2018).

Salah satu bukti keseriusan pemerintah dalam memanfaatkan energi angin ialah dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Melalui Kementerian ESDM, dalam memanfaatkan tenaga angin adalah peresmian PLTB Sidrap I oleh Presiden Joko Widodo pada 2 Juli 2018 silam yang berlokasi di Desa Mattirotasi dan Desai Lainungan, Kec. Watang Pulu, Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan. PLTB ini sudah mulai beroperasi secara komersial pada tanggal 5 April 2018. Sidrap dipilih sebagai lokasi pembangunan PLTB karena memiliki kecepatan angin yang bagus yaitu 7 meter per detik (m/s). Pembangunannya dilakukan dalam waktu 2,5 tahun (Agustus 2015 s.d. Maret 2018).

PLTB Sidrap I dapat menghasilkan tenaga listrik berkat adanya 30 kincir angin atau wind turbin generator. Turbin berkapasitas 2.5 MW pada 30 kincir tersebut dapat menghasilkan listrik sebesar 75 Mega Watt (MW) dan diperkirakan akan mampu mengaliri listrik 70.000 pelanggan di wilayah Sulawesi Selatan dengan daya listrik rata-rata 900 volt Ampere. PLTB ini menempati lahan seluas 100 hektar, dengan jumlah 30 turbin yang tingginya mencapai 80 meter dan baling-baling sepanjang 57 meter.

Kincir angin menerapkan prinsip fisika, yaitu gerak melingkar. Salah satu implementasi konsep tersebut adalah pada rotor turbin yang berputar berlawanan arah. Kincir angin yang berputar saat digunakan tersebut akan menghasilkan menghasilkan listrik. Maka dari itu tujuan dari penulisan penelitian ini untuk mendeskripsikan hubungan gerak melingkar pada ada prinsip kerja kincir angin sebagai alternatif menghasilkan energi terbarukan.

2. Konsep Gerak Melingkar

Gerak melingkar ialah sebuah gerak dengan lintasannya yang berbentuk lingkaran. Menurut Refiana (2016), ada dua jenis gerak melingkar yaitu gerak melingkar beraturan (GMB) dan gerak melingkar berubah beraturan (GMBB). Dalam selang waktu yang sama besar posisi sudut Teta pada GMB ialah tetap namun pada GMBB Besar posisi sudutnya akan berbeda. Pada GMB Bsar kecepatan linearnya konstan namun arahnya berubah, sedangkan pada GMBB nilai kecepatan linear dan arahnya pun berubah. Besar dan arah kecepatan sudut pada GMB adalah konstan, tetapi pada gmbb besar dan arahnya berubah. Pada GMB besar percepatan tangensial dan percepatan sudutnya sama dengan nol, sedangkan pada gmbb besar percepatan tangensial dan percepatan ialah sudutnya konstan.

Pada GMB hanya hanya terdapat percepatan sentripetal, namun pada GMBB terdapat dua jenis percepatan, yaitu percepatan sentripetal dan percepatan tangensial. Percepatan sentripetal hanya merubah arah kecepatan, sedangkan percepatan tangensial mengubah besar kelajuan. Pada GMBB besar perecepatan tangensial selalu konstan. Sehingga kelajuan linier benda bertambah secara teratur. Selain kelajuan liniernya berubah, pada GMBB

kecepatan sudutnya juga berubah, Perubahan kecepatan sudut setiap detik inilah yang disebut dengan percepatan sudut (Halliday, 2010).

Dalam gerak melingkar terdapat dua jenis besaran, yaitu besaran sudut (anguler) dan besaran linear (tangensial). Besaran sudut adalah besaran yang arah kerjanya melingkar atau membentuk sudut tertentu (untuk besaran vektor) sedangkan besaran linear atau tangensial adalah besaran yang arah kerjanya lurus (tidak membentuk sudut). Besaran sudut pada gerak melingkar meliputi periode, frekuensi, posisi sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut. Sedangkan besaran linear pada gerak melingkar adalah jari-jari, panjang lintasan, kecepatan linear, percepatan tangensial, percepatan sentripetal dan percepatan total. Gerak melingkar berdasarkan karakteristik kecepatan, dibedakan menjadi gerak melingkar beraturan (GMB) dan gerak melingkar berubah beraturan (GMBB) (Halliday, 2010).

Besaran-besaran fisis gerak melingkar terdiri dari, periode, frekuensi, perpindahan sudut, perpindahan linear, kecepatan linear, kecepatan sudut, percepatan tangensial, dan percepatan sudut. Periode (T) adalah waktu yang diperlukan suatu benda untuk melakukan satu putaran,

$$T = \frac{t}{n} \quad (1)$$

dengan n adalah jumlah putaran dan t adalah waktu (sekon). Frekuensi (f) adalah jumlah putaran yang dilakukan benda dalam satuan waktu.

$$f = \frac{n}{t} \quad (2)$$

Dari kedua persamaan tersebut terdapat hubungan antara periode dan frekuensi yang ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$T = \frac{1}{f} \quad (3)$$

Menurut Neny (2020), perpindahan pada gerak melingkar disebut perpindahan sudut ($\Delta\theta$). Perpindahan sudut ($\Delta\theta$) adalah sudut yang disapu oleh sebuah garis radial mulai dari posisi awal garis θ hingga posisi akhir garis θ dengan satuan SI untuk $\Delta\theta$ adalah rad. Perpindahan Linear/panjang lintasan yang ditempuh benda tersebut untuk satu lingkaran penuh sama dengan keliling lingkaran ($2\pi r$) dengan r adalah jari-jari lingkaran.

3. Angin dan Kincir Angin

Fachri, M.R., dan Hendrayana (2017), mengatakan bahwa angin adalah udara yang bergerak dari tekanan tinggi menuju ke tekanan rendah atau sebaliknya yaitu dari suhu udara yang rendah ke suhu udara yang lebih tinggi. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain di panaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan dari radiasi matahari. Kondisi bumi yang tidak homogen, sehingga terjadi perbedaan suhu dan tekanan udara antara daerah yang menerima energi panas lebih besar dengan daerah lain yang lebih sedikit menerima energi panas, mengakibatkan terjadinya aliran udara pada wilayah tersebut.

Menurut Pusat Asesmen dan Pembelajaran Republik Indonesia, cara kerja dari pembangkit listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik

Ketika poros generator mulai berputar, akan dihasilkan tegangan dan arus tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*). Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Menurut Wagner (2016), saat ini ada berbagai jenis kincir angin yang beroperasi. Kincir angin yang paling umum adalah kincir angin sumbu horizontal. Berdasarkan kecepatan berputarnya, kincir angin ini terbagi menjadi dua. Yang pertama adalah kincir angin dengan rotasi cepat. Kincir jenis ini umumnya hanya memiliki sepasang baling-baling yang berputar. Hal tersebut mengurangi jumlah permukaan kincir yang bergesekan dengan udara. Akibatnya, kincir bisa

berputar lebih kencang. Selaiknya, kincir angin dengan rotasi lambat memiliki banyak baling-baling yang berputar. Jumlah permukaan kincir yang bergesekan dengan udara semakin. Akibatnya, kincir berputar lebih lambat. Meskipun berputar lebih lambat, justru kincir angin jenis ini sangat stabil. Hal tersebut karena getaran akibat peputaran kincir yang bergerak lambat cenderung kecil. Hal itu juga yang menyebabkan kincir angin jenis ini bisa beroperasi lebih lama.

Kincir sumbu horizontal hanya terdiri dari beberapa bilah rotor yang dioptimalkan secara aerodinamis. Cara untuk mengaturnya adalah dengan merancang sudut sedemikian rupa sehingga aliran udara di sepanjang sudu akan mengalami turbulensi pada kecepatan tertentu. Menurut Wagner (2016), kincir ini dapat memberikan daya mulai dari 10 kW hingga beberapa MW. Untuk bisa digunakan sebagai pembangkit listrik, dibutuhkan mesin dengan kecepatan tinggi. Oleh sebab itu, kincir-kincir angin umumnya berukuran besar dan tinggi.

Jenis kincir angin yang lain ialah kincir angin sumbu horizontal. Ini adalah jenis kincir angin multiblade. Kincir angin tersebut memiliki torsi awal yang tinggi yang membuatnya cocok untuk menggerakkan pompa air secara mekanis. Meskipun demikian, kincir jenis ini memiliki jumlah putarannya rendah, dan bilahnya terbuat dari lembaran sederhana dengan bentuk geometri yang lebih sederhana. Untuk meningkatkan jumlah putaran, kincir jenis ini telah dilengkapi dengan sudut yang lebih efisien secara aerodinamis sehingga memudahkan untuk memproduksi listrik.

Menurut Wagner (2016), kincir angin sumbu horizontal terbagi menjadi dua jenis, yaitu darrieus dan savonius. Turbin angin Darrieus merupakan turbin angin sumbu vertikal dengan poros rotor utama yang disusun tegak lurus. Maka dari itu, kincir jenis ini memiliki kelebihan tidak bergantung pada arah angin saat beroperasi. Untuk kincir savonius hanya digunakan dalam kegiatan penelitian untuk mengukur kecepatan angin. Jadi, kincir jenis ini tidak digunakan untuk memproduksi listrik.

Jenis kincir terakhir sebagai Up-Stream-Power-Station atau menara termal (Wagner (2016)). Pada prinsipnya, dapat dianggap sebagai gabungan antara kincir angin dan kolektor surya. Di puncak menara yang sempit dan tinggi terdapat kincir/turbin angin dengan sumbu vertikal yang digerakkan oleh udara hangat yang bergerak naik. Sebuah kolektor surya dipasang di sekitar kaki menara untuk memanaskan udara. Meskipun terdengar sangat menjanjikan, namun di seluruh dunia hanya ada satu pembangkit listrik jenis. Pembangkit listrik tersebut dirancang oleh sebuah perusahaan di Jerman. Pembangkit Listrik Up-Stream kedua dengan kinerja listrik 200 MW direncanakan di Australia, tetapi belum direalisasikan sampai saat ini. Tinggi menara harus sekitar 1000 m dan diameter area kolektor harus sekitar 7000 m. Sejauh ini belum ada Up-Stream-Power-Station baru yang dirancang dan dipasang. Sejak ada kemajuan teknis yang luar biasa selama sepuluh tahun terakhir mengenai stasiun pertanian surya serta kincir angin sumbu horizontal.

Menurut Pusat Asesmen dan Pembelajaran Republik Indonesia, cara kerja dari pembangkit listrik tenaga angin ini yaitu awalnya energi angin memutar turbin angin. Angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator di bagian belakang turbin angin. Generator mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Ketika poros generator mulai berputar, akan dihasilkan tegangan dan arus tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (*Alternating Current*). Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dapat dimanfaatkan. Skema kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema kerja pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB)

Pada baling-baling kincir terdapat gaya yang bekerja, maka besar torsinya dapat diketahui. Torsi adalah perkalian vektor antara jarak sumbu putar dengan gaya yang bekerja pada titik yang berjarak dari sumbu pusat. Berikut adalah penulisan rumus oleh Halliday, (2010). Secara teori dapat dirumuskan:

$$T = r F, \quad (4)$$

dengan T adalah torsi akibat putaran poros (N.m), R adalah jarak baling-baling kincir (m), dan F adalah gaya (N). Energi yang terdapat pada angin adalah energi kinetik ditunjukkan pada Persamaan 5.

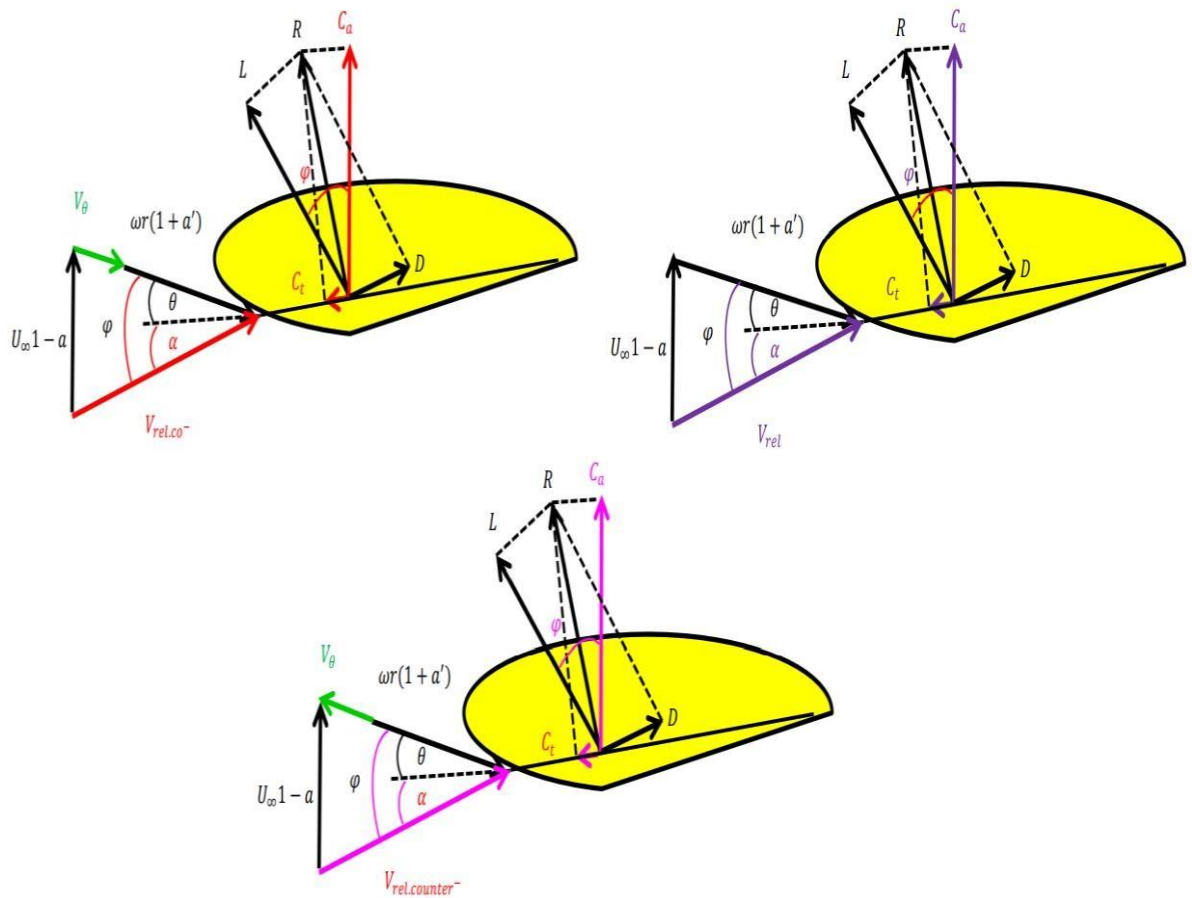
$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (5)$$

dengan E_k adalah energi kinetik (joule), m adalah massa (kg) dan v adalah kecepatan angin (m/s).

4. Hubungan Konsep Gerak melingkar dan Prinsip Kerja Kincir Angin

Pada Gambar 2, kecepatan dan gaya yang dihasilkan untuk aliran masuk dari turbin bagian akhir yang beroperasi di belakang turbin bagian awal dari susunan turbin yang berputar bersama dan berlawanan. Angka-angka elemen baling-baling menunjukkan perubahan untuk tiga kondisi aliran masuk. Untuk susunan turbin yang berputar bersama (Gambar. 2a), komponen sudut dari aliran masuk menambah komponen sudut yang dihasilkan dari rotasi rotor. Sedangkan untuk *counter-rotating array* (Gambar. 2c), komponen sudut berlawanan dengan rotasi rotor. Dengan demikian, kecepatan relatif untuk *co-rotating array* yang berputar bersama meningkat dan kecepatan relatif untuk *counter-rotating array* yang berputar berlawanan dikurangi. Gaya yang bekerja pada elemen sudut juga berubah. Yang menjadi perhatian khusus adalah pada koefisien beban tangensial C_t . C_t menentukan torsi yang diberikan oleh setiap elemen sudut. Dilihat dari koefisien beban tangensial untuk ketiga kasus tersebut, terlihat jelas bahwa *counter-rotating array* memiliki C_t tertinggi sedangkan *co-rotating array* memiliki C_t terendah. Ini menjelaskan mengapa rotor ujung akhir dalam susunan turbin yang berputar berlawanan mungkin memiliki kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan turbin ujung akhir dalam susunan turbin yang berputar bersama.

Dari beberapa penjelasan sebelumnya, terdapat hubungan antara konsep gerak melingkar dengan prinsip kincir angin. Baling-baling pada kincir angin menangkap hembusan angin dan dari putaran baling-baling tersebut akan dihasilkan putaran motor yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Secara sederhana, angin yang dihasilkan setiap waktunya digunakan untuk memutar turbin atau kincir angin. Ketika turbin atau kincir berputar, dorongan dari putaran tersebut dapat diteruskan untuk memutar salah satu bagian pada generator yaitu rotor di belakang kincir angin. Selanjutnya dari tahap tersebut, energi listrik dapat dihasilkan. Namun, sebelum energi listrik yang telah dihasilkan dapat digunakan, alangkah baiknya jika energi listrik tersebut tadi disimpan pada tempat penyimpanan energi.



Gambar 2. Kecepatan dan gaya yang dihasilkan pada bidang rotor untuk: (a). Turbin yang berputar bersama dengan komponen kecepatan sudut positif pada co - rotating. (b). Tidak ada komponen sudut dalam aliran masuk dan (c) turbin counter- rotating dengan komponen kecepatan sudut negatif pada aliran masuk. Sumber: Dokumentasi pribadi

Daya kincir angin adalah daya yang dihasilkan oleh poros kincir akibat daya angin yang melintasi sudut-sudut kincir. Secara teori daya kincir yang dihasilkan oleh gerak melingkar pada poros kincir angin dapat pada Persamaan 6.

$$P_{OUT} = T \cdot \omega, \tag{6}$$

dengan P_{out} adalah daya yang dihasilkan kincir angin (watt), T adalah torsi (Nm), ω adalah kecepatan sudut (rad/s). Kecepatan sudut adalah radian per sekon (rad/s), satuan lain yang digunakan adalah putaran per menit (rpm). Konversi satuan yang menghubungkan (rpm) dan (rad/s) adalah $1 \text{ rpm} = 2\pi/60 \text{ rad/s}$, maka Persamaan (6) dapat dirubah menjadi,

$$P_{out} = T \frac{2\pi n}{60} \tag{7}$$

dengan n adalah putaran poros (rpm). *Tip speed ratio* (Tsr) adalah perbandingan antara kecepatan ujung sudut kincir angin yang berputar melingkar dengan kecepatan angin yang melewatinya. Tsr dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 8.

$$tsr = \frac{2 \pi r n}{60 v}, \tag{8}$$

dengan r adalah jari-jari kincir angin (m), n adalah putaran poros (rpm) dan y adalah kecepatan angin (m/s). Gerak baling-baling kincir angin yaitu gerak melingkar beraturan. Arah kecepatan linier benda pada suatu titik adalah searah dengan arah garis singgung lingkaran pada titik tersebut. Jadi, pada gerak melingkar beraturan, vektor kecepatan linier adalah tidak tetap karena arahnya selalu berubah, sedangkan kelajuan linear tetap.

5. Kesimpulan

Pada kasus gerak kincir angin termasuk gerak rotasi karena lintasannya berbentuk lingkaran dan memiliki sumbu putar yang tetap. Arah kecepatan linier benda pada suatu titik adalah searah dengan arah garis singgung lingkaran pada titik tersebut. Jadi, pada gerak melingkar beraturan, vektor kecepatan linier adalah tidak tetap karena arahnya selalu berubah, sedangkan kelajuan linear tetap. Terdapat perbandingan antara kecepatan ujung sudut kincir angin yang berputar melingkar dengan kecepatan angin yang melewatinya. Pada kincir terdapat daya yang dihasilkan oleh poros kincir akibat daya angin yang melintasi sudut-sudut kincir angin.

Keterlibatan Penulis

AZS dan D S melakukan pengumpulan data. RRA menulis naskah original. N melakukan revisi.

Daftar Pustaka

- AL HUDA ME, A. H. M., & Alwani, H. (2018). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Energi Angin Dan Surya Di Gedung Batu Bara Universitas Sriwijaya Inderalaya Sumatera Selatan* (Doctoral dissertation, Sriwijaya University).
- Azirudin, T. (2019). Potensi Tenaga Angin Di Atas Bangunan Bertingkat di Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan Provinsi Riau. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 18(1), 23-28.
- Aziz, M. A. S., & Sukma, H. (2021). Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Energi Penerangan Jalan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(1), 9-16.
- Fachri, M.R., dan Hendrayana (2017). "Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh". *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*. 1(1).
- Giyatno, D. W. F. S. N., Subekti, L. B., Pradana, A. B., Nurawati, I., & Wibowo, I. (2021). Optimalisasi kapasitas energi angin dan matahari dengan konfigurasi mikrogrid berdasarkan karakteristik beban. *Jurnal Teknosains*, 10(2), 170-178.
- Halliday, R., W. (2010). *Fisika Dasar Edisi 7 Jilid 1*. Jakarta, Penerbit Erlangga.
- Hendrawati, D., Sahid, Y. M. S., & Roihatin, A. (2021). Pemanfaatan Potensi Energi Angin di Mangunharjo Semarang Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Skala Mikro. *Jurnal DIANMAS*, 10(1).
- Lewi, L., Haans, A. L. S., Jamal, J., & Kambuno, D. (2021, December). Analisis Sistem Hybrid Energi Matahari Dan Energi Angin Untuk Pendingin di Kapal Penangkap Ikan. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (pp. 131-136).
- Mahardhika, M. Z., Priharti, W., & Aprilliah, B. S. (2022). Pemanfaatan Turbin Angin Vertikal Pada Sepeda Motor Sebagai Pengisi Daya Portable. *eProceedings of Engineering*, 9(2).
- Neny (2020). Modul Pembelajaran Fisika SMA. Diakses online pada: <http://repositori.kemdikbud.go.id>
- Taba, H. T., & Muabuay, E. Y. (2020). Pengembangan Pembangkit Listrik Alternatif Melalui Pemanfaatan Kincir Angin Savonius Untuk Pengisian Bateray Bagi Nelayan Kota Jayapura. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(1), 20-26.
- Puspendik RI (2019). ASESMEN KOMPETENSI MINIMUM. Diakses pada Minggu, 5 Juni 2022 di <https://hasilun.puspendik.kemdikbud.go.id/>
- Tharo, Z., Hamdani, H., & Andriana, M. (2019, May). Pembangkit listrik hybrid tenaga surya dan angin sebagai sumber alternatif menghadapi krisis energi fosil di sumatera. In *seminar nasional teknik (SEMNASTEK) UISU* (Vol. 2, No. 1, pp. 141-144).
- Wagner, H.J. (2018). Introduction to wind energy systems. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 189, p. 00005). EDP Sciences.
- Widyanto, S. W., Wisnugroho, S., & Agus, M. (2018). Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Pulau Wangi-Wangi. *Prosiding Semnastek*.