

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Untuk Keperluan Penerangan Jalan

Agus Ulinuha^{1*}, Wahyu Adi Widodo²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

*Email: Agus.Ulinuha@ums.ac.id

Abstrak

Keywords:
Turbin angin,
generator induksi,
penerangan jalan

Energi Listrik telah merupakan kebutuhan mendasar kehidupan manusia. Sejauh ini pemenuhannya dilakukan dengan pembangkitan yang secara dominan menggunakan bahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin berkurang memerlukan upaya diversifikasi ke sumber daya lain. Dalam riset ini dikembangkan pembangkit daya skala mikro untuk keperluan penerangan jalan. Untuk memperoleh energi mekanik dari tenaga angin dikembangkan turbin angin tipe horizontal yang terkopel secara langsung dengan generator. Arah baling-baling diatur dengan sirip pada sisi belakang sumbu untuk mendapatkan dorongan angin maksimal. Generator yang digunakan adalah tipe induksi yang dimodifikasi dengan penambahan magnetic strip. Penyearah satu fasa digunakan untuk mengkonversi tegangan listrik bolak-balik dari generator menjadi tegangan listrik searah yang disuplai ke baterai untuk keperluan penyimpanan energi. Untuk keperluan penerangan jalan, digunakan saklar otomatis berbasis LDR yang menyalakan lampu ketika keadaan gelap. Hasil pengujian menunjukkan tegangan pada kisaran 11,1 – 11,8 Volt pada kecepatan angin sedang yang cukup untuk memasok baterai. Dengan tinggi tiang penyangga 3,5 meter turbin telah dapat berputar cukup baik dan energi yang tersimpan dalam baterai cukup untuk menyalakan lampu penerangan LED 10 W, 12 V selama semalam. Keunggulan tipe pembangkit ini adalah kemampuan untuk tetap membangkitkan daya listrik selama terdapat dorongan angin. Prototipe ini dapat dikembangkan lebih jauh untuk skala yang lebih besar agar dapat dimanfaatkan pada jalan yang tidak terjangkau aliran listrik. Pemanfaatannya secara masif akan memberikan kontribusi pengurangan konsumsi daya listrik untuk keperluan penerangan jalan.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu energi yang menjadi kebutuhan mendasar bagi hampir seluruh manusia. Listrik menjadi salah satu energi yang menjadi syarat utama dalam semua kegiatan ekonomi dan aktivitas manusia. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan cukup banyak pembangkit tenaga listrik di Indonesia. Saat ini, pemerintah telah berkomitmen untuk memasok listrik sebanyak 35 ribu Megawatt (MW) dalam jangka waktu 5 tahun (2014-2019). Pemerintah dan sektor swasta bekerja sama untuk membangun 109 pembangkit listrik, dimana 35 proyek telah dilakukan pembangunannya oleh PLN dan 74 proyek lainnya yang dilakukan pembangunannya oleh Swasta/ *Independent Power Producer* (IPP).

Generator adalah salah satu mesin listrik yang bekerja memanfaatkan energi gerak/mekanik untuk dikonversi menjadi energi listrik yang bisa dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Generator menggunakan prinsip eksperimen Faraday yaitu memutar magnet secara relatif terhadap kumparan atau sebaliknya. Ketika medan magnet bergerak

dalam kumparan, akan terjadi perubahan fluks gaya magnetis dan akan dihasilkan beda potensial antara ujung kumparan. Energi mekanik yang dimanfaatkan untuk menghasilkan putaran generator dapat berasal dari tubin yang diputar oleh energi eksternal misalnya uap bertekanan, gas bertekanan, energi potensial air atau tiupan angin.

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki banyak sumber energi, salah satunya energi angin. Karakteristik geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan dan salah satu negara yang berada di khatulistiwa merupakan faktor yang berpotensi melimpahnya energi angin tersebut. Potensi energi angin di Indonesia cukup memadai, karena kecepatan angin rata-rata berkisar antara 3,5 sampai 7 *m/dt*. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi, menunjukkan bahwa beberapa daerah memiliki kecepatan angin di atas 5 *m/dt*, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Tabel 1 menunjukkan kelompok energi angin pada beberapa tempat di Indonesia

Tabel 1. Klasifikasi Energi Potensial Angin (LAPAN, 2005)

Kelas	Kecepatan Angin (m/dt)	Daya (W/m)	Kapasitas (kW)	Lokasi
Skala Kecil	2,5 – 4,0	<75	< 10	Jawa, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi
Skala Menengah	4,0 – 5,0	75 – 150	10 – 100	NTB, NTT, Sulawesi
Skala Besar	> 5,0	> 150	> 100	Sulawesi Selatan, NTB, NTT, Pantai Selatan Jawa

Berdasarkan data pada Tabel 1, kawasan Indonesia sangat mendukung pelaksanaan eksplorasi tenaga angin, baik skala kecil maupun skala besar. Biasanya generator yang digunakan untuk tenaga angin adalah jenis generator induksi kecepatan tinggi, generator jenis ini membutuhkan kecepatan tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk menciptakan medan magnet, sehingga tidak sesuai untuk diterapkan di daerah yang rendah kecepatannya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikembangkan generator yang bisa digunakan pada turbin angin atau sumber penggerak bertenaga rendah. Selain itu, generator yang akan dibuat ini harus murah, mudah dibangun, mudah perawatannya, dan mudah dikembangkan dalam skala besar (*scale up*).

Pembangkit tenaga listrik dengan energi terbarukan, terutama pada pembangkit tenaga angin sangat dipengaruhi oleh perancangan piranti mekanik. Berbeda dengan generator yang digerakkan energi mekanik yang konstan. Sejumlah parameter perlu diperhatikan, misalnya jarak optimal antara stator (kumparan) dengan rotor (magnet permanen) yang harus diperhitungkan secara cermat (Andi Pradana, 2008). Pada sisi lain, untuk generator dengan kecepatan rendah, jumlah kumparan dan jumlah magnet permanen juga perlu diperhitungkan secara teliti, agar dapat dihasilkan tegangan yang cukup meskipun putaran generator tidak tinggi (Dhanar YA, 2009). Semakin banyak jumlah perpotongan magnet permanen pada setiap penghantar pada kumparan, maka tegangan keluaran yang dihasilkan lebih besar. Sejumlah prinsip di atas akan membantu dalam merancang generator untuk pembangkit tenaga, baik dari segi desain, konstruksi, jenis material dan jumlah tiang yang akan pakai.

Dalam riset yang dilakukan, dikembangkan pembangkit listrik skala mikro dengan memanfaatkan energi mekanis angin untuk memutar baling-baling yang terkopel dengan generator. Sejumlah parameter fisik ditentukan berdasarkan sejumlah eksperimen sampai dengan diperoleh nilai-nilai optimal. Pemanfaatan energi yang dibangkitkan adalah untuk menyalakan lampu penerangan yang penyalanya menggunakan saklar otomatis berbasis LDR. Analisis dilakukan untuk melihat korelasi kecepatan angin dan tegangan serta arus pengisian batere.

2. LANGKAH PERANCANGAN

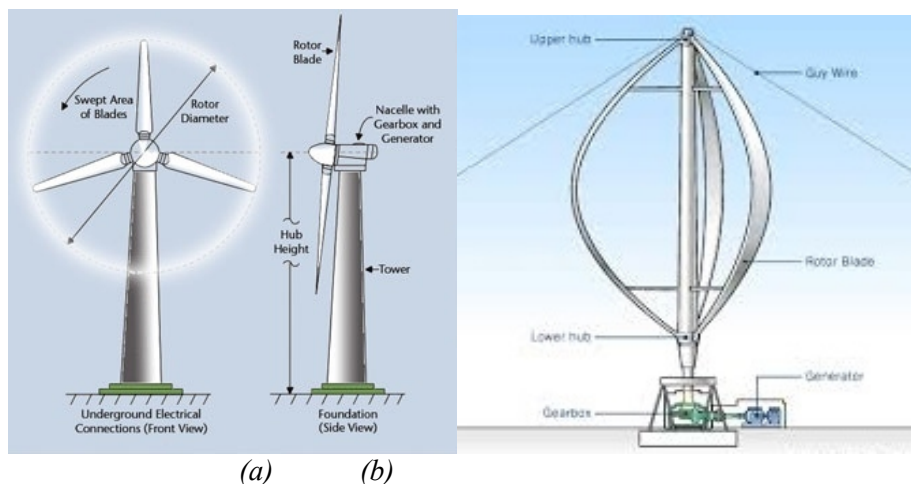
Konstruksi peralatan dimulai dengan merancang model baling-baling (turbin) pembangkit listrik. Rancangan dan desain pabrik didasarkan pada perhitungan dan juga dari sejumlah pustaka yang dimanfaatkan sebagai acuan mendasar. Pada dasarnya, turbin angin dapat dibedakan atas dua jenis turbin berdasarkan arah rotasi-nya, yaitu:

1. Turbin angin yang berputar pada sumbu horizontal dikenal sebagai *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT),
2. Turbin angin yang berputar pada sumbu vertikal dikenal sebagai *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT).

Turbin angin horisontal adalah model umum yang sering dapat diamati dengan desain yang mirip dengan kincir angin, memiliki bilah dan berputar pada sumbu vertikal. Turbin angin horisontal memiliki poros rotor dan generator di bagian atas menara dan harus diarahkan pada arah tiupan angin. Turbin skala kecil mengarahkan posisi sumbu menggunakan sudu yang mengatur sumbu untuk melawan angin sehingga diperoleh kecepatan putar maksiman. Sedangkan untuk turbin skala besar dilengkapi sensor yang terhubung ke motor servo yang mengarahkan bilah melawan arah angin. Sebagian besar turbin berskala besar memiliki *gearbox* untuk menaikkan kecepatan rotasi dari turbin ke rotor.

Turbin angin vertikal memiliki poros rotor vertikal. Keuntungan utama turbin jenis ini adalah tidak perlunya mengarahkan ke hembusan angin. Hal ini sangat berguna pada daerah dimana arah angin sangat bervariasi atau memiliki turbulensi. Dengan sumbu vertikal, generator dan komponen utama lainnya dapat ditempatkan dekat dengan permukaan tanah, sehingga tidak memerlukan penyangga yang membuat perawatannya lebih mudah. Kerugian utama dari turbin angin vertikal adalah terciptanya dorongan horisontal saat turbin berputar.

Kedua jenis turbin tersebut ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Turbin Angin tipe (a) Horisontal dan (b) Vertikal

Generator adalah salah satu mesin listrik yang bekerja berdasarkan energi gerak / mekanik dan mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Generator menggunakan prinsip eksperimen Faraday yang memutar medan magnet secara relatif terhadap kumparan atau sebaliknya. Ketika medan magnet digerakkan berputar terhadap kumparan, perubahan fluksi magnetik pada kumparan menyebabkan perbedaan potensial antara ujung kumparan. Perubahan fluksi magnetik dapat diakibatkan oleh gerakan yang memanfaatkan sumber energi eksternal, seperti angin atau air yang memutar bilah turbin yang terkopel dengan generator.

Generator induksi merupakan salah satu jenis generator AC yang menerapkan kebalikan prinsip motor induksi untuk menghasilkan tenaga. Generator induksi dioperasikan dengan menggerakkan rotor lebih cepat daripada kecepatan sinkron-nya yang mengakibatkan slip

negatif. Generator induksi menerapkan prinsip induksi elektromagnetik dalam operasinya. Meskipun demikian dengan modifikasi tertentu, generator ini dapat juga bekerja dengan kecepatan rendah dan kecepatan tidak tetap. Sehingga generator induksi banyak digunakan pada pembangkit listrik dengan daya rendah seperti pada pembangkit listrik mikrohidro atau pembangkit listrik tenaga angin.

Adapun prinsip pembangkitan tegangan pada generator adalah jika sebuah konduktor diputar memotong medan magnet, maka pada penghantar tersebut akan dibangkitkan tegangan sebesar

$$e = B.l.v \dots\dots\dots(1)$$

Dengan :

e = Induksi tegangan yang dibangkitkan (*volt*)

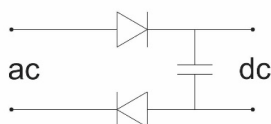
B = Fluksi magnetik (*wb*)

l = Panjang penghantar (*m*)

v = Kecepatan putar rotor (*m/s*)

Pada riset ini, generator induksi dibuat untuk membangkitkan tegangan yang akan memasok batere. Generator induksi dibuat dari motor bekas kipas angin dengan penambahan *magnetic strips*. Untuk mendapatkan putaran pada generator, dikembangkan turbin angin yang berfungsi untuk memutar rotor generator. Turbin yang dikembangkan memiliki 4 bilah yang terbuat dari bahan PVC, dengan alasan bahan yang ringan dan kuat. Pada poros turbin-generator dipasang ekor (*tail*) yang merupakan bagian yang memiliki peran penting bagi pembangkit listrik tenaga angin tipe horizontal. Ekor tersebut dimanfaatkan untuk mengatur arah turbin agar selalu melawan (menghadap) angin. Ekornya terbuat dari akrilik, dengan tujuan ringan dan kuat.

Tegangan keluaran dari kumparan merupakan tegangan AC yang perlu disearahkan menjadi tegangan DC agar dapat disuplaikan ke akumulator (batere). Komponen yang dikembangkan terdiri dari 2 buah Dioda 1 watt dan sebuah Capacitor 22 μ F, 25 Volt. Rangkaian penyearah ditunjukkan pada Gambar 2. Selain menyearahkan tegangan, komponen ini juga berfungsi untuk memblokir arus balik dari akumulator ke mesin induksi.



Gambar 2. Rangkaian Penyearah

Adapun Batere yang digunakan dalam riset ini memiliki spesifikasi tegangan 12 volt dengan kapasitas 5 Ah. Energi yang tersimpan dalam akumulator akan dimanfaatkan untuk menyalakan lampu pada malam hari. Untuk keperluan pensaklaran otomatis, dimanfaatkan saklar berbasis LDR (*Light Dependent Resistor*). Dengan memanfaatkan saklar ini, lampu menyala saat intensitas sinar matahari kurang (menjelang senja), dan lampu mati saat intensitas sinar matahari terbit (di pagi hari). Sedangkan lampu yang dimanfaatkan dalam riset ini adalah adalah jenis lampu LED (*Light Emitting Diode*) 10 W, 12 Volt.

3. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Percobaan dilakukan di daerah Puser, Karanglo, Polanharjo, Klaten. Pengujian dilakukan dengan generator yang terkopel dengan baling-baling dipasang pada ketinggian 3,5 meter, menggunakan tiang besi pendukung yang ditanam dalam cor beton. Diharapkan pada ketinggian tersebut telah didapatkan dorongan angin yang cukup. Terdapat serangkaian pengujian yang dilakukan sampai dengan bulan Agustus 2017. Sedangkan untuk mendapatkan data pengujian dimanfaatkan alat ukur untuk mengetahui kaitan antara kecepatan angin, tegangan dan arus pengisian batere. Alat yang dimaksud adalah sebagai berikut:

1. Anemometer,
2. Multimeter.

Adapun bentuk konstruksi baling-baling terkopel dengan generator ditunjukkan pada Gambar 3.



(a) siang



(b) malam

Gambar 3. Konstruksi baling-baling dan generator terlihat pada (a) Siang dan (b) malam

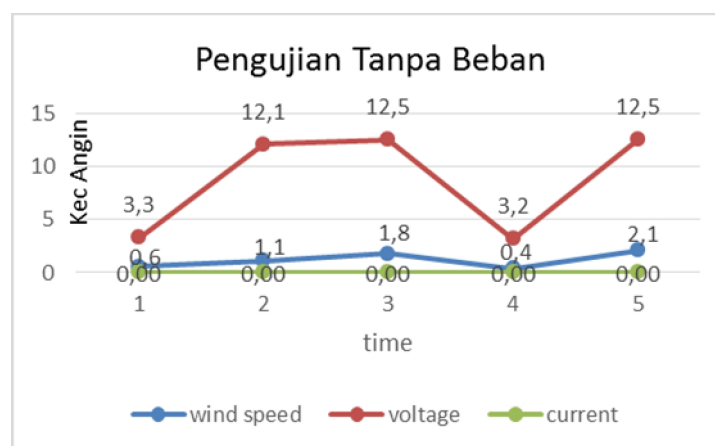
Pengukuran data dilakukan dengan *data logger* yang memanfaatkan Arduino sebagai pemroses mikro (*microprosesor*). Adapun setting pencatatan sampel data dilakukan setiap 5 menit. Beban generator berupa baterai sebagai piranti penyimpan energi listrik yang dimanfaatkan untuk menyalakan lampu LED 10 watt pada malam hari. Karena piranti ini didisain untuk penerangan jalan yang akan menyala dan padam secara otomatis, maka untuk keperluan penskelaran (*switching*) dimanfaatkan komponen LDR (*Light Dependent Resistor*) sebagai salah satu komponen pengembangan saklar otomatis berbasis pencahayaan lingkungan sekitar.

Pengujian peralatan dilakukan untuk keadaan generator tanpa beban dan berbeban. Untuk pengujian tanpa beban, nilai kecepatan angin yang terukur terhadap tegangan adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Dalam keadaan tanpa beban, tidak terdapat arus yang mengalir karena tidak ada daya yang ditarik oleh beban. Dalam keadaan ini terminal tegangan generator dalam keadaan terbuka. Dari data pengukuran yang diperoleh, dapat diamati bahwa kecepatan menentukan tegangan keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin, maka akan semakin cepat putaran turbin dan semakin besar tegangan generator. Hal ini memberikan verifikasi atas persamaan (1) bahwa salah satu faktor yang

menentukan tegangan adalah kecepatan putar dari generator. Relasi tersebut secara grafis ditunjukkan pada gambar 3.

Tabel 2. Kecepatan Angin dan Tegangan untuk kondisi tanpa beban

No	Kecepatan Angin (<i>m/dt</i>)	Tegangan (<i>Volt</i>)	Arus (<i>Amp.</i>)
1	0,6	3,3	0,00
2	1,1	12,1	0,00
3	1,8	12,5	0,00
4	0,4	3,2	0,00
5	2,1	12,5	0,00



Gambar 3. Hasil pengujian tanpa beban

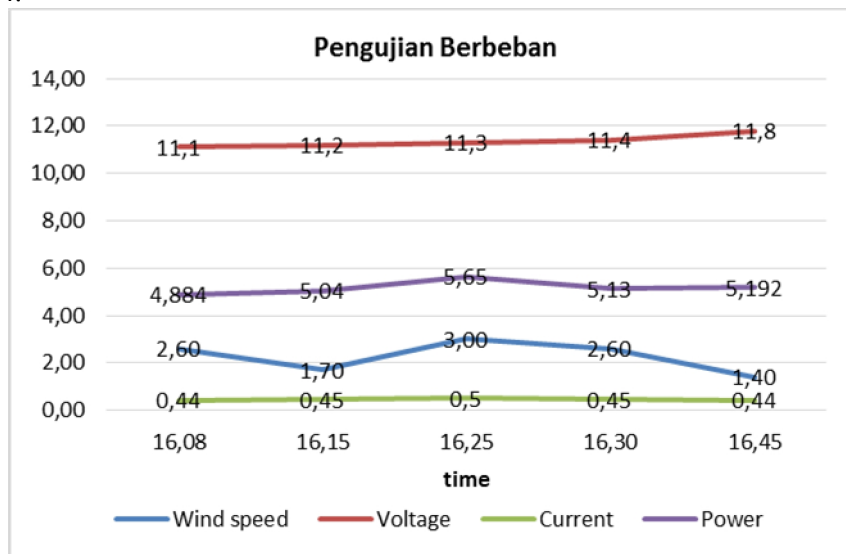
Berdasarkan data hasil pengujian tanpa beban, maka pengujian dilanjutkan untuk keadaan berbeban. Dengan melihat kinerja peralatan yang didasarkan atas kemampuan membangkitkan tegangan pada kecepatan angin rendah, diperkirakan generator akan cukup untuk membangkitkan tegangan yang mampu mengisi batere pada kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Karena itu pengujian dilakukan berbasis waktu dimana, pencatatan data dilakukan untuk waktu yang intensitas kecepatan anginnya sedang. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh data sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian peralatan dalam keadaan berbeban

No	Waktu	Kecepatan Angin (<i>m/dt</i>)	Tegangan (<i>Volt</i>)	Arus (<i>Amp.</i>)	Daya (<i>Watt</i>)
1	16.08	2,60	11,1	0,44	4,884
2	16.15	1,70	11,2	0,45	5,040
3	16.25	3,00	11,3	0,50	5,650
4	16.30	2,60	11,4	0,45	5,130
5	16.45	1,40	11,8	0,44	5,192

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat diamati bahwa untuk waktu pengisian pada kisaran pukul 16.00, generator memiliki kemampuan yang cukup untuk membangkitkan tegangan yang dapat di-suplaikan ke akumulatur. Sedangkan arus pengisian dan daya dari sistem cukup baik untuk ukuran batere 12 Volt, 5 Ah. Dengan arus pengisian sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, maka estimasi pengisian batere secara penuh dapat dilakukan selama 10 jam. Kecepatan angin memang tidak dapat dijamin sepenuhnya sama, namun turbin dapat terus berputar selama 24 jam selama ada angin. Dari keseluruhan waktu 24 jam tersebut, hanya dibutuhkan 10 jam turrbin berputar dengan kecepatan minimal 1,4 *m/dt* agar dapat mengisi batere. Hal ini cukup layak untuk dengan melihat data sebagaimana Tabel 3.

Secara grafis, hubungan antara kecepatan angin dan daya pengisian batere ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengujian berbeban

Beban lampu LED 10 Watt 12 Volt secara teoritis hanya membutuhkan arus 0,83 Amp. dan untuk batere yang terisi penuh, maka lampu akan dapat menyala sekurang-kurangnya 6 jam. Namun berdasarkan pengamatan ternyata lampu dapat menyala sepanjang malam, hal ini terutama karena energi batere yang berkurang segera kembali terisi oleh generator yang diputar oleh turbin karena tiupan angin. Sedangkan pada siang hari/keadaan cerah, lampu tidak menyala sehingga energi yang dibangkitkan generator dapat sepenuhnya dimanfaatkan untuk pengisian batere. Dengan demikian, pembangkit tenaga listrik dengan turbin angin ini cukup sesuai untuk pembangkit daya skala mikro yang dapat dimanfaatkan untuk penerangan jalan. Pemanfaatannya terutama untuk area terbuka yang cukup banyak terdapat tiupan angin dan jauh dari jangkauan saluran daya listrik.

4. KESIMPULAN

Pengembangan pembangkit listrik skala mikro telah dilakukan untuk keperluan penerangan jalan. Baling-baling dan generator induksi yang dimanfaatkan dalam riset ini merupakan piranti yang dapat secara mudah diperoleh di pasaran. Adapun kesimpulan yang dapat disampaikan adalah:

1. Kecepatan angin mempengaruhi tegangan pembangkitan generator,
2. Tegangan yang dihasilkan generator untuk waktu tertentu cukup memadai untuk keperluan pengisian daya ke akumulator,
3. Pemanfaatan sakelar otomatis berbasis LDR memungkinkan penyalaan secara otomatis lampu penerangan sehingga cocok dimanfaatkan untuk daerah yang jauh dari pemukiman namun membutuhkan sarana penerangan,
4. Untuk memperoleh tegangan yang lebih besar agar durasi pengisian lebih panjang, diperlukan disain baling-baling yang lebih baik serta menambah jumlah lilitan generator,
5. Diperlukan untuk mengkombinasikan secara hibrida pembangkit tenaga angin dengan pembangkit terbarukan lainnya, misalnya panel surya, agar diperoleh kemampuan pengisian yang lebih baik untuk batere berskala besar sehingga dapat dimanfaatkan untuk penerangan dengan ukuran lampu yang lebih besar.

5. PERSANTUNAN

Penulis berterimakasih kepada DRPM Kemenristekdikti bahwa sebagian pendanaan riset ini diperoleh dari skim PKLN dan Publikasi Ilmiah tahun 2017 berdasarkan kontrak dengan nomor: 211.17/A.3-III/LPPM/V/2017.

REFERENSI

- Aji, D Yuwono. 2013. Desain Generator Axial Kecepatan Rendah Dengan Menggunakan Magnet Permanen. Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- David Sieg, (2012). Home Energy Made Easy
- Er.R.K. Rajput. Alternating Current Machine.
- Irasari, P., & Novrita, I. (2009). Aplikasi Magnet Permanen $BaFe_{12}O_{19}$ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil. *Jurnal Sains Materi Indonesia* 11(1), 38–41.
- Jati, D. W., Tejo, S., & Karnoto. (2012). Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara. <http://www.elektro.undip.ac.id>. Diakses pada: Sabtu, 25 Juni 2016.
- Kalyan Raj Kanigati, Linga Reddy, and Kiran Kumar Vinay. Voltage Control of Self Excited Induction Generator
- Kim, K. (2016). Design of Permanent Magnet Generator Coupling With Power Converter. *Technology collection* 19(3), 969.
- Lee, G. C., & Jung, T. U. (2013). A Design on Reduction Cogging Torque of Dual Generator Radial Flux Permanent Magnet Generator for Small Wind Turbine. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8(6), 1590–1595. <http://doi.org/10.5370/JEET.2013.8.6.1590>
- M. Godoy Simoes an Felix Farret. Modeling and Analysis with Induction Generator, Third Edition.
- Multi, A., Budiyanto., & Sugianto. (2015). Pemanfaatan Generator Sinkron AFWR Sebagai Motor Sinkron AFWR. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2015*. <http://www.jurnal.ftumj.ac.id/index.php/semnastek>. Diakses pada: Rabu, 8 Juni 2016
- Prasetijo, H., & Sugeng, W. (2015). Optimasi Lebar Celah Udara Generator Axial Magnet Permanen Putaran Rendah 1 Fase, *JNTETI*: 4(4).
- Price, G. F., Batzel, T. D., Comanescu, M., & Muller, B. A. (2008). Design and Testing of a Permanent Magnet Axial Flux Wind Power Generator. *The 2008 IAJC IJME International Conference*