

# OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *HYBRID* PADA SEKTOR SISTEM TURBIN ANGIN MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) DENGAN METODE *PARTICLE SWARM OPTMIZATION* (PSO) DI PLTH BAYU BARU, BANTUL, D.I. YOGYAKARTA

Bibie Albar Whiancaka<sup>1</sup>

Fakultas Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia  
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia

<sup>1</sup>13524110@students.uii.ac.id

WAW  
ACC  
19 Feb 2018

**Abstrak**—Permasalahan tentang krisis energi listrik, merupakan hal yang patut dikaji dalam beberapa dekade ini. Dimana mayoritas sumber energi listrik masih menggunakan bahan bakar fosil yang mulai habis dan tidak ramah lingkungan. Untuk itu, diperlukanya aksi serta perubahan untuk mulai beralih pada sumber energi alternatif yang berasal dari alam. Sehingga kebutuhan akan bahan bakar untuk dikonfersikan menjadi energi listrik terus berkelanjutan dan stabil. Tentang masalah energi baru terbarukan sudah tak asing lagi dan telah dikembangkan, antara lain pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) gabungan antara beberapa jenis pembangkit. Pada penelitian tugas akhir ini akan membahas pada format sistem turbin angin yang akan disimulasikan ulang secara matematis dan menerapkan penggunaan *maximum power point tracking* (MPPT) dengan algoritma *particle swarm optimization* (PSO). Hasilnya menunjukan daya keluaran yang optimal dan efisien serta respon yang baik terhadap perubahan kecepatan angin.

**Kata kunci**—*optimasi; energi terbarukan; turbin angin; MPPT; PSO*

## I. PENDAHULUAN

Sebagai negara berkembang Indonesia mempunyai kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Berkembangnya seluruh sektor untuk mendukung kehidupan yang lebih modern memerlukan sumber daya energi yang memadai, terutama energi primer yaitu energi listrik yang lebih besar. Sehingga perlu adanya energi terbarukan untuk mengatasi lonjakan kebutuhan energi listrik. Sesuai dengan kebijakan untuk memanfaatkan sumber energi Nasional untuk memprioritaskan peningkatan dan optimasi pencapaian energi terbarukan tahun 2025 sejumlah 5%[1], maka sumber energi terbarukan bisa menjadi langkah alternatif sebagai sumber pembangkit energi listrik yang tetap tertuju pada aspek teknis, keselamatan lingkungan dan ekonomi di Indonesia.

Salah satu faktor penghambat dari pemanfaatan energi baru terbarukan pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* angin khususnya pada sistem turbin anginya ialah pada rancang-

rancangan sistem pembangkit yang kurang responsif ketika kecepatan angin yang berubah-ubah[1]. berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, untuk mengoptimalkan daya keluaran sistem turbin angin, perlu dilengkapi dengan MPPT serta terdapat berbagai macam metode. Dan penggunaan metode PSO mampu memberikan respon yang baik untuk sistem turbin angin dengan kecepatan angin yang berubah-ubah, dibanding metode optimasi lainnya yang membutuhkan peralatan pengukuran serta input parameter data yang lumayan kompleks atau hasil respon sistem yang kurang baik. Pada penelitian tugas kahir ini bertujuan untuk memperoleh desain sistem turbin angin yang dilengkapi MPPT dengan metode PSO sehingga mampu beradaptasi dengan kecepatan angin yang berubah-ubah. Dan untuk mengetahui seberapa besar peningkatkatan efisiensi sistem turbin angin serta performansi turbin angin pada saat kecepatan yang berubah-ubah

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak. Oleh karena itu dikonversikan kedalam bentuk energi lain seperti energi mekanik atau energi listrik dengan menggunakan kincir atau disebut dengan sistem konversi energi angin. Daya berbandung lurus denga kecepatan angin dan kerapat udara sebagaimana pada persamaan (1) [8][9].

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

Dengan nilai :

$P_m$  = Energi angin

$\rho$  = Kerapatan udara  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

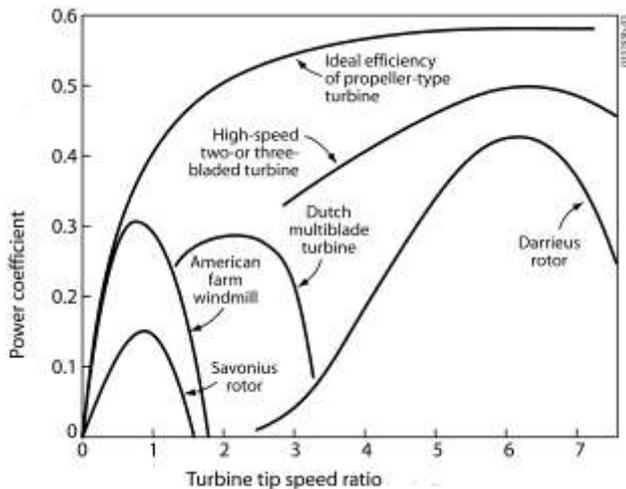
$R$  = Jari - jari (m)

$V$  = Kecepatan Angin  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$C_p$  = Koefisien Peforma Turbin

### A. Turbin Angin

Turbin angin berfungsi untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanik sesuai persamaan (2.1). koefisien performa turbin angin ( $C_p$ ) merepresentasikan efisiensi ekstraksi daya pada turbin angin. ( $C_p$ ) merupakan fungsi non linier dari *tip speed ratio* ( $\lambda$ ) dan *blade pitch angle* ( $\beta$ ). Secara teoritis ( $C_p$ ) memiliki nilai maksimum 0.59 sebagaimana di gambar 1 akan tetapi dalam praktiknya nilainya berkisar 0.4 dan 0.45[9].



GAMBAR 1. TIPS SPEED RATIO FOR VARIOUS TURBINE

TSR merupakan variabel yang mengekspresikan perbandingan antara kecepatan linier ujung *blade* terhadap kecepatan putar ( $\lambda$ ) dari turbin angin berikut ini adalah persamaanya.

$$\lambda = \omega_m R / V_w \quad (2)$$

Dengan nilai:

$\omega_m$  = Kecepatan Anguler

R = Radius Turbin

$V_w$  = Kecepatan Angin

$\lambda$  = Kecepatan putar

### B. Permanent Magnet Synchronous Generator PMSG)

Pada PMSG medan magnet yang diberikan tidak melalui elektromagnetik melainkan melalui magnet permanen. Dalam hal ini fluks medan tetap konstan dan supply untuk mengeksitasi kumparan medan tidak diperlukan begitu pula dengan keberadaan slip ring. Penggunaan PMSG dalam sistem mesin listrik memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut [11]

1. Torsi dan daya keluaran yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan eksitasi elektromagnetik
2. Respon dinamis yang lebih baik dibanding dengan menggunakan eksitasi elektromagnetik, dikarenakan rapat fluks pada air gap lebih tinggi
3. Rugi-rugi tembaga yang lebih kecil
4. *Acoustic noise* kecil.
5. Tidak ada energi listrik yang diserap oleh sistem eksitasi medan, dengan demikian tidak akan ada rugi-rugi eksitasi sehingga efisiensi akan meningkat

### C. Penyearah

Penyearah atau *rectifier* berfungsi untuk merubah listrik AC menjadi listrik DC. Hal ini sangat diperlukan dalam sistem turbin angin mengingat frekuensi listrik AC keluaran dari sistem sangat berpengaruh oleh kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin maka frekuensi keluaran juga semakin besar. Oleh karena itu penyearah akan merubah listrik ac ke dc untuk kemudian disalurkan ke beban atau diubah kembali menjadi listrik AC dengan frekuensi yang diatur sesuai dengan kebutuhan dengan bantuan inverter[12]. Listrik AC keluaran PMSG akan disearahkan oleh penyearah diode gelombang penuh tiga fase menggunakan sistem jembatan dengan enam buah diode. Berikut persamaan (2.4) tegangan rata-rata ( $V_0$ ) atau DC keluaran penyearah tiga fase yang mana berbading lurus dengan AC maksimum  $V_m$ .

$$V_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} V_m \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_m}{\pi} = 0.9555 V_m \quad (3)$$

### D. Boost Converter

DC *chopper* tipe boost dapat mengubah suatu nilai tegangan DC tertentu menjadi tegangan DC yang lebih tinggi[13] Pada gambar merupakan rangkaian DC *chopper* tipe *boost* dengan MOSFET sebagai *switch*-nya. Ketika MOSFET *on* dan dioda *off* maka arus mengalir menuju induktor dan menjadi proses pengisian arus pada induktor. Selanjutnya saat MOSFET *off* dan dioda *on* arus yang ada di induktor akan dikeluarkan. Sehingga arus antara arus pada sumber dan arus pada induktor merupakan penjumlahan antara arus pada sumber dan induktor. Pada saat yang bersamaan terjadi pula proses pengisian tegangan pada kapasitor sehingga *ripple* akan berkurang.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (4)$$

### E. Maximum Power Point Tracking

MPPT merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengoptimalkan daya keluaran suatu sistem. Pada sistem turbin angin variabel speed, turbin angin dimungkinkan untuk beroperasi pada kecepatan yang optimal sebagai fungsi kecepatan angin. Konverter *power electronic* dapat mengendalikan kecepatan putar turbin untuk mendapatkan daya maksimum yang dimungkinkan dengan menggunakan algoritma MPPT sehingga daya keluaran dari turbin angin dapat optimal. Terdapat metode MPPT yang dapat digunakan dalam rangka mencapai efisiensi setinggi mungkin sesuai dengan kecepatan angin[15]

### F. Particle Swarm Optimization

Algoritma PSO pertama kali diperkenalkan pada tahun 1995 oleh Dr. Eberhart dan rekannya Dr. Kennedy, Particle Swarm Optimization (PSO) didasarkan pada bentuk imitasi proses populasi hewan yang mencari sumber makanan seperti pada populasi ikan dan burung. Teknik optimasi ini adalah sebuah komputasi evolusioner yaitu pemecahan algoritmanya diawali pada sebuah populasi yang random atau disebut partikel.

Secara umum teknik optimasi yang berbasis pada populasi untuk mencari sebuah titik optimal atau solusi adalah menggunakan populasi dari partikelnya sendiri. Pencarian solusi yang optimal pada PSO mencakup ruang solusi yang berisi variabel-variabel optimasi yang disebut nilai obyektif atau nilai fitness. Nilai fitness ini adalah sebuah fungsi objektif masalah optimasi, dapat dianalogikan pada populasi burung sebagai kumpulan partikel yang mencari makanan. Dan fungsi tersebut adalah kualitas serta kuantitas makanan pada setiap tempat yang mereka cari. Sehingga kumpulan burung ini akan mencari tempat makanan dengan kuantitas paling banyak dan kualitas paling baik.

Selanjutnya partikel-partikel tersebut mempertahankan posisinya, nilai fitness yang terevaluasi, serta kecepatannya. Setiap partikel tersebut memiliki ingatan untuk menyimpan kedalam memori, dengan kata lain menunjukan nilai fitness terbaik ( $P_{best}$ ). Nilai fitness paling baik pada swarm atau kumpulan partikel ini disebut posisi global terbaik ( $G_{best}$ )[16]. Pada persamaan dibawah ini adalah bentuk dari perubahan yang telah disesuaikan dengan permasalahan optimasi seperti dibawah

$$\left| \frac{p_i^k - p_i^{k-1}}{p_i^k} \right| > \Delta P \quad (5)$$

$$|Max(\Phi)| < \Delta \Phi_{max} \quad (6)$$

$$\Phi_i^{k+1} = W \Phi_i^k + c_1 r_1 \{d_{pbest}^k - d_i^k\} + c_2 r_2 \{d_{Gbest}^k - d_i^k\} \quad (7)$$

$$d_i^{k+1} = d_i^k + \Phi_i^{k+1} \quad (8)$$

Dimana nilai:

$p_i^k$  = daya sesudah (watt)

$p_i^{k-1}$  = daya sebelum (watt)

$\Phi_i^k$  = kecepatan saat ini

$\Phi_i^{k+1}$  = kecepatan termodifikasi

$W$  = faktor momentum

$d_{pbest}^k$  = *personal best duty cycle*

$d_{Gbest}^k$  = *global best duty cycle*

$d_i^k$  = *duty cycle* saat ini

$d_i^{k+1}$  = *duty cycle* yang telah dimodifikasi

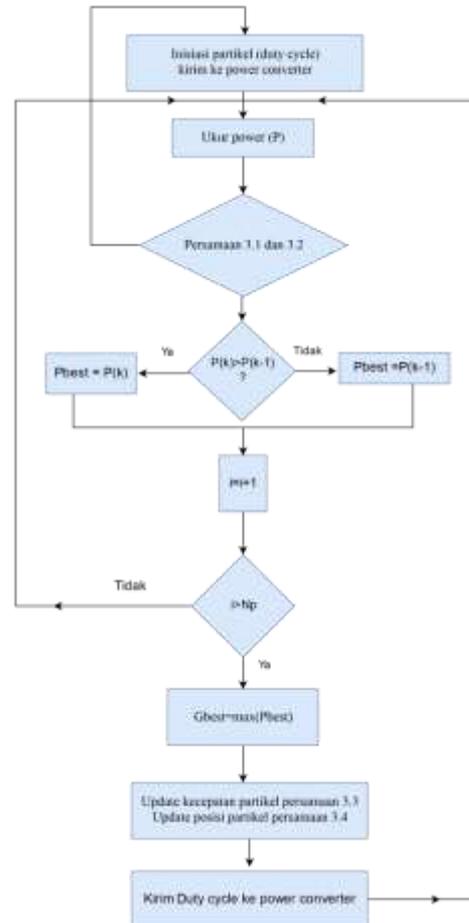
$c_1 c_2$  = konstanta akselerasi

$r_1 r_2$  = nilai *random* antara 0 dan 1

### II. METODE PENELITIAN

Sesuai dengan skema *flowchart* penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data karakteristik turbin angin yang selanjutnya menjadi dasar perancangan MPPT dengan algoritma PSO dengan mendapatkan daya keluaran sistem yang optimal. Hasil rancangan dianalisis untuk mendapatkan efisiensi dan performa sistem turbin angin pada kecepatan angin yang berubah-ubah. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa prosedur mulai dari analisis data turbin angin

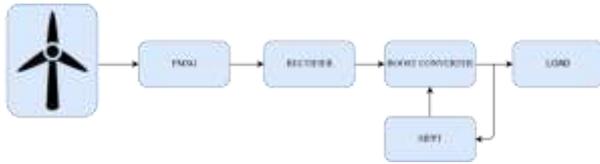
karakteristik turbin angin kemudian dilanjutkan dengan pemodelan sistem turbin angin sesuai dengan data karakteristik. Selanjutnya dapat mulai melakukan pengimplementasian algoritma PSO pada MPPT untuk mendapatkan daya keluaran yang optimal pada kecepatan yang berubah-ubah Terakhir dilakukan analisis terhadap daya keluaran turbin angin sehingga efisiensi sistem turbin angin dilengkapi dengan algoritma PSO pada MPPT dapat diketahui.



GAMBAR 2. FLOWCHART ALGORITMA PSO

### III. HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan serta menurut diagram alir diatas akan dibuat sebuah model sistem turbin angin yang mencerminkan karakteristik dan performansi dari turbin anggi 1 kW di PLTH. Sistem turbin angin yang tersusun atas turbin angin yang berfungsi mengkonversikan energi angin menjadi energi mekanis. PMSG berfungsi mengkonversikan energi mekanis menjadi energi listrik. Penyearah berfungsi sebagai menyearahkan listrik AC 3 fase keluaran PMSG menjadi listrik DC, *boost converter* dan MPPT yang berperan untuk memaksimalkan daya keluaran dari sistem turbin angin.



GAMBAR 3. DIAGRAM BLOK SISTEM TURBIN ANGIN

Untuk mendapatkan daya keluaran maksimal dari sistem turbin angin, digunakan MPPT dengan algoritma PSO dimana dengan dengan tegangan dan arus keluaran menjadi masukan bagi algoritma PSO untuk mengevaluasi *duty cycle* pada bagian kendali *boost converter*. Pada algoritma ini digunakan *swarm* dari tiga partikel dengan nilai mula-mula *duty cycle* dari yang mana nilai tersebut merupakan nilai *duty cycle* mula-mula yang akan dievaluasi oleh algoritma PSO. Setelah nilai *duty cycle* dimasukkan pada *boost converter* maka akan didapatkan nilai daya keluaran. Masing-masing nilai *duty cycle* dari hasil perkalian tegangan dan arus keluaran *boost converter*, kemudian berdasarkan daya keluaran tersebut dilakukan penentuan nilai lokal maksimum untuk mengevaluasi *duty cycle*. Nilai lokal maksimum dan global maksimum ini akan menentukan kecepatan partikel yang baru dengan demikian posisi partikel akan terus diperbarui sehingga didapatkan daya keluaran yang paling optimal.

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter yang sifatnya fluktuatif terhadap hasil optimasi akan dilakukan analisis sensitifitas. Parameter yang sifatnya tetap pada optimasi daya keluaran turbin angin adalah kecepatan angin dan kapasitas daya turbin angin. Pengaruh perubahan parameter kecepatan turbin angin terhadap hasil optimasi diuji dengan memvariasikan kecepatan angin yaitu antara 4 m/s hingga 11 m/s dengan kapasitas turbin angin tetap yaitu 1000w.

TABEL 1  
UJI SENSITIVITAS ALGORITMA PSO

Kecepatan angin (m/s)	Daya out (W)	Daya in (W)	efisiensi (%)
4.5	47.6	49.6	95.97
6.5	254	295	86.10
7	334.2	364	91.81
8.5	866	889	97.41
9	1100	1212	90.76
10	1472	1676	87.83

11	1596	1599	99.81
Rata-rata efisiensi			92.81

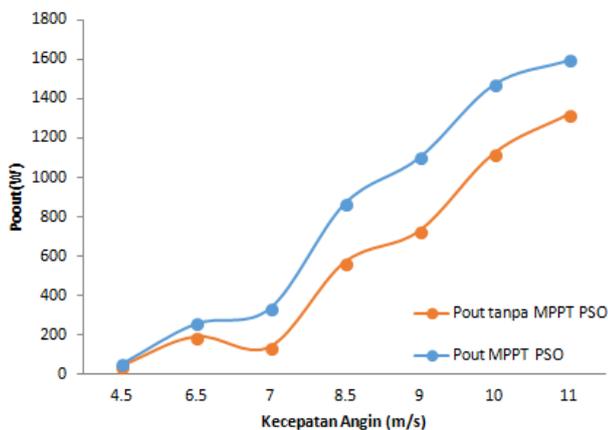
Kecepatatan angin yang berubah-ubah terhadap waktu menyebabkan daya listrik yang dihasilkan sistem turbin angin juga mengalami perubahan seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 hal ini dikarenakan daya mekanis turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin sebagaimana dinyatakan dalam persamaan 2.1, dari persamaan tersebut daya mekanis turbin angin semakin besar maka daya mekanis turbin angin akan semakin besar pula. Dan semakin besar daya mekanis turbin angin akan berakibat semakin besarnya kecepatan putar rotor. Dikarenakan turbin angin terkopel dengan PMSG maka kecepatan putar rotor semakin besar akan berakibat pada semakin besarnya daya listrik keluaran turbin angin. Maka grafik hubungan kecepatan angin dengan daya sistem turbin angin memiliki tren grafik eksponensial positif.

TABEL 2  
PENGARUH KECEPATAN ANGIN  
TERHADAP KECEPATAN ROTOR DAN DAYA  
KELUARAN

Kecepatan Angin(m/s)	Kecepatan Rotor (Rpm)	Pout(W)
4	112.12	47.6
6,5	150.01	254
7	206.83	334.2
8	244.74	866
9	271.29	1100
10	324.38	1472
11	334.04	1596

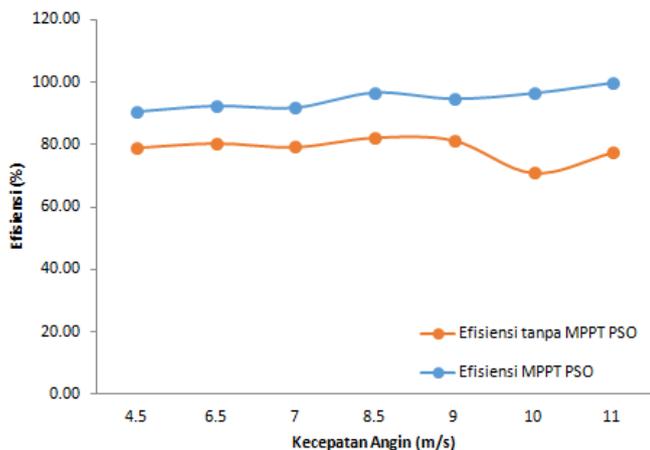
Sebagaimana telah diterangkan sebelumnya bahwa kecepatan angin yang berubah-ubah akan menghasilkan daya listrik yang berbeda pula. Pada penelitian[9], diterangkan bahwa ketika kecepatan angin yang berbeda-beda maka akan terdapat titik optimal yang berbeda pula dimana daya listrik keluaran sistem turbin angin berada pada titik maksimal, oleh karena itu pada penelitian ini digunakan MPPT dengan menggunakan algoritma PSO untuk menjaga agar sistem pada turbin angin selalu dapat menghasilkan

daya keluaran yang maksimal pada kecepatan angin yang berbeda-beda sehingga dengan demikian efisiensi dari sistem turbin angin dapat meningkat, dan juga memiliki daya keluaran yang konstan jika dibandingkan dengan sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.3.



GAMBAR 4. GRAFIK ANTAR KECEPATAN ANGIN DAN BESAR

Berdasarkan gambar 6 dibawah dengan jelas bahwa pengimplemenetasian MPPT dengan PSO daya listrik yang terdapat dihasilkan oleh sistem turbin angin lebih besar dibanding dengan daya listrik tanpa di diimplemenetasikan MPPT dengan PSO. Pada nilai efisiensi gambar 4.4 sistem turbin angin juga meningkat seperti ditunjukkan pada gambar 4.5 dapat dilihat pada sistem turbin angin yang tidak menggunakan MPPT maka nilai efisiensinya bervariasi antara 71-83 % sedang turbin angin yang menggunakan MPPT dengan algoritma PSO diatas 90% dan cenderung konstan.



GAMBAR 5. GRAFIK ANTAR KECEPATAN ANGIN DAN BESAR EFISIENSI

#### IV. KESIMPULAN

Pada bagian sektor sistem turbin angin yang disimulasikan ulang dan dilengkapi MPPT dengan menggunakan metode algoritma PSO mampu bekerja dan beradaptasi ketika kecepatan angin berubah-ubah. Saat kecepatan angin 4.5 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 47.6 W, sedangkan saat kecepatan angin bernilai 11 m/s daya listrik keluaran yang dihasilkan sebesar 1596 W. Penggunaan MPPT dengan metode algoritma PSO yang diimplementasikan pada sistem turbin angin daya listrik yang dihasilkan lebih besar dibanding tidak menggunakan MPPT dengan metode algoritma PSO. Hasil implementasi MPPT dengan algoritma PSO pada sistem turbin angin menunjukkan kualitas yang baik. Terjadi peningkatan daya keluaran sebesar 27.73% saat kecepatan angin yang berubah-ubah. Nilai efisiensinya naik 17% setelah melakukan optimasi menggunakan algoritma PSO pada MPPT sistem turbin Angin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, "Blueprint Pengelolaan Energi 2006 -2025," 2006.
- [2] M. Hutapea, "Solusi Listrik Off Grid Berbasis Energi Terbarukan di Indonesia: Kerangka Regulasi dan Program," pp. 1–32, 2016.
- [3] Dita Anggraini, "Analisis Potensi Angin Di Pantai Baru Pandansimo Kabupaten Bantul," no. September, 2016.
- [4] A. N. dkk Hidayatullah, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2016.
- [5] D. R. Mushthafa and V. Lystianingrum, "Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation," no. 1, pp. 1–6.
- [6] M. Narayana, G. A. Putrus, M. Jovanovic, P. S. Leung, and S. McDonald, "Generic maximum power point tracking controller for small-scale wind turbines," *Renew. Energy*, vol. 44, pp. 72–79, 2012.
- [7] S. Hadi *et al.*, "Model Distribusi Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang dengan Menggunakan Metode Darbyshire dan Smb di Perairan Semarang," *Bul. Oseanografi Mar. April*, vol. 1, no. April, pp. 25–32, 2012.
- [8] Y. Megantara, "Optimasi Manajemen Daya Pada Sistem Hibrida Antara Turbin Angin, Fotovoltaik, Dan Fuel cell Pada Studi Kasus kawasan Watu Ulo.," 2015.
- [9] K. D. Pribadi, "Optimasi Sistem Hybrid Pembangkit listrik Tenaga Angin Dan Pembangkit Listrik Tenaga Ombak," Universitas Gadjah Mada, 2017.
- [10] "No Title." [Online]. Available: <http://synergyfiles.com/2017/02/frequently-asked->

- questions-wind-turbine/. [Accessed: 01-Dec-2018].
- [11] N. Madani, "Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine Design of a Permanent Magnet Synchronous Generator for a Vertical Axis Wind Turbine," pp. 5–46, 2011.
  - [12] E. Rogers, "Understanding Buck Power Stages in Switchmode Power Supplies Application Report," no. March, p. 36, 1999.
  - [13] E. Rogers, "Understanding Buck-Boost Power Stages in Switch Mode Power Supplies," *Power*, vol. 18, no. November, pp. 1–32, 2002.
  - [14] K. Ishaque, Z. Salam, M. Amjad, and S. Mekhilef, "An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 8, pp. 3627–3638, 2012.
  - [15] Z. Chen, J. M. Guerrero, and F. Blaabjerg, "A review of the state of the art of power electronics for wind turbines," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 8, pp. 1859–1875, 2009.
  - [16] B. Santosa, "Tutorial Particle Swarm Optimization," pp. 1–15.
  - [17] Y. S. Kim, I. Y. Chung, and S. Il Moon, "Tuning of the PI controller parameters of a PMSG wind turbine to improve control performance under various wind speeds," *Energies*, vol. 8, no. 2, pp. 1406–1425, 2015.
  - [18] M. Otong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking ( MPPT ) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," vol. 5, no. 2, 2016.