

## Optimasi PID Controller pada Wind-Turbine Berbasis Particle Swarm Optimization (PSO)

<sup>1</sup>Muh Alfian Affandi, <sup>2</sup>M. Ibnu Masrur, <sup>3</sup>Agus Raikhani, <sup>4</sup>Dwi Ajiatmo, <sup>5</sup>Machrus Ali

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Darul Ulum, Jombang

<sup>1</sup>alfianaffandy@gmail.com, <sup>2</sup>ibnu.masrus@gmail.com, <sup>3</sup>agus.raikhani@gmail.com, <sup>4</sup>ajiatio@gmail.com, <sup>5</sup>machrus7@gmail.com,

**Abstract** - Abstracts are written in English and written in Indonesian. Abstract must contain research objectives, research methods in a concise manner and the results of research that has been obtained. The number of words in the abstract is between 150 and 250 words. (Font 9)

**Keywords** — Components, core, style, (At least 5 keywords) (Font 9)

Abstract-Pitch variable-speed wind turbine telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Saat kecepatan angin rendah di bawah nilai rata-rata, pengatur kecepatan harus dapat mengatur kecepatan rotor secara terus-menerus untuk mempertahankan kecepatan pada sebuah level. sehingga dapat memberikan koefisien daya maksimum, efisiensi turbin akan meningkat. Pitch angle control adalah salah satu cara untuk menyesuaikan torsi aerodinamik pada turbin angin. Pengaturan pitch angle diperlukan dalam kondisi kecepatan angin diatas batas yang diinginkan. Perubahan kecil pada pitch angle dapat mempengaruhi output daya. Penggunaan kecerdasan buatan sering digunakan untuk optimasi tenaga listrik, optimasi system kontrol, maupun optimasi lainnya. Diantara kecerdasan buatan itu adalah Particle Swarm Optimization (PSO). Penelitian ini membandingkan beberapa metode, yaitu tanpa control, Kontrol PID, dan PID-PSO.

**Kata Kunci**—PSO, PID, Wind Turbine

### I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk maka kebutuhan akan energy listrik juga akan meningkat. Akibatnya beban listrik akan meningkat juga. Dengan adanya peningkatan beban listrik maka pasokan listrik ke konsumen juga dipengaruhi. Akibatnya apabila pasokan listrik bertambah maka daya output yang dikeluarkan oleh generator juga akan bertambah. *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG) merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen[1]. PMSG ini akan dikopel dengan turbine angin agar menghasilkan energi listrik, sehingga dengan adanya PMSG dapat mengurangi biaya pengeluaran yang mahal. PMSG mempunyai efisiensi yang kurang optimal untuk menghasilkan daya listrik. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, *pitch angle*[2]. Oleh karena itu, PMSG perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen. PMSG ini akan dikopel dengan turbine

agar menghasilkan energi listrik. PMSG mempunyai efisiensi yang kurang optimal untuk menghasilkan daya listrik[3][4]. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, pitch angle dan lain-lain. Oleh karena itu, turbine perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal. Saat ini Artificial Inteligent (AI) sering digunakan untuk mengembangkan berbagai keilmuan diantaranya sebagai control steer kendaraan[5][6], sebagai kontrol sudu turbin angin [7], sebagai kontrol mikrohidro[8], sebagai kontrol kecepatan motor DC[9]. Diantaranya juga menggunakan metode Ant Colony Optimization (ACO)[10][11][12] dan Particle Swarm Optimization (PSO)[13][14][15][16]. Maka pada penelitian ini digunakan metode kecerdasan buatan PSO.

### A. Model Wind Turbin

Aerodinamis Wind turbine bisa merubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator listrik. Angin yang melewati turbin akan menghasilkan energi yang sama dengan energi yang transformasikan oleh turbin. Persamaan energi kinetic;

$$U = \frac{1}{2}(\rho Ax)V^2 \quad (1)$$

Dimana :

U	= energi kinetik (joule)
$\rho$	= intensitas udara ( $\text{kg/m}^3$ )
A	= luas penampang ( $\text{m}^2$ )
x	= ketebalan penampang (m)
V	= kecepatan angin (m/s)

Kekuatan angin ( $P_w$ ) adalah turunan dari energi kinetic;

$$P_w = \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (2)$$

Daya mekanik dan torsi yang di transformasikan adalah seperti persamaan:

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

$$T_r = \frac{1}{2} C_T(\beta, \lambda) \rho \pi R^3 V^2 \quad (4)$$

Nilai  $C_p$  sangat nonlinear dan bervariasi pada kecepatan angin, kecepatan rotasi turbin, parameter blade turbin serta pitch angle. Hal ini dibatasi oleh batas Betz (59%).

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (5)$$

Dimana :

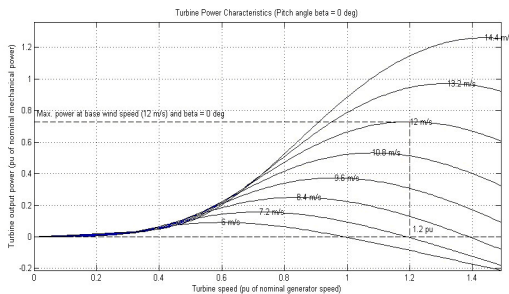
$\lambda$	= ratio kecepatan
$\omega R$	= ratio antara kecepatan bujursangkar dari ujung turbin

$$V = \text{kecepatan angin}$$

$$C_p(\lambda, \beta) = \lambda C_t(\lambda, \beta) \quad (6)$$

Koefisien  $C_t$  merupakan fungsi yang sangat nonlinear dari rasio kecepatan tip, dan blade pitch angle  $\beta$ . [4]

Karakteristik operasi dari variabel kecepatan variable-pitch wind turbine bisa digambarkan dari kurva daya, yang memberi perkiraan dari output daya sebagai fungsi dari kecepatan angin. Operasi wind turbine dapat digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik wind turbine [7]

Wilayah operasi wind turbine terdapat tiga titik yang berbeda; Cut-in wind speed: kecepatan angin terendah dimana wind turbine mulai menghasilkan daya listrik, Rated wind speed: kecepatan angin pada saat wind turbine menghasilkan daya listrik, yang biasanya merupakan daya maksimum dari wind turbine, Cut-out wind speed: kecepatan angin yang dapat menghentikan dan mematikan wind turbine agar terlindung dari kerusakan mekanik.

## II. METODE PENELITIAN

### A. PID Controller

Kontrol PID adalah sistem kontrol gabungan antara kontrol proporsional, integral, dan turunan (derivative). Pada metode ini, penalaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (step). Pengendali pada metode ini hanya pengendali proporsional.  $K_p$ , dinaikkan dari 0 hingga nilai kritis  $K_p$ , sehingga diperoleh keluaran yang terus-menerus berosilasi dengan amplitudo yang sama. Nilai kritis  $K_p$  ini disebut sebagai ultimated gain. Nilai ultimated period,  $T_u$ , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi yang terus menerus berosilasi [17][18][19].

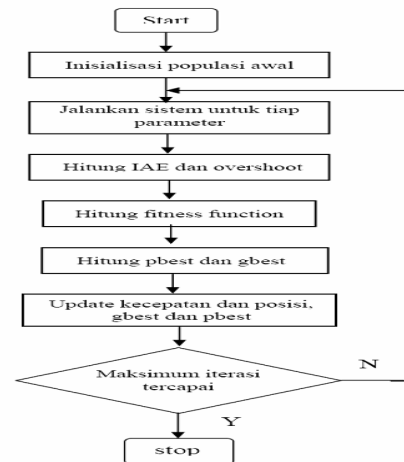
### B. Particle Swarm Optimization (PSO)

Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhard pada tahun 1995. Algoritma ini terinspirasi dari kebiasaan sebuah populasi burung maupun ikan dalam mencari makanan terbaik. Pada algoritma PSO, populasi burung maupun ikan disebut swarm. Sedangkan tiap individu burung maupun ikan disebut particle. Posisi makanan terbaik yang dicapai populasi tersebut

merepresentasikan nilai optimal yang dicari pada algoritma PSO.

Ketika suatu particle menemukan posisi terbaik, maka particle lainnya akan bergerak menuju pada particle tersebut. Namun ketika terdapat particle lain yang menemukan posisi yang lebih baik dari particle terbaik pertama, maka semua particle akan berubah haluan menuju particle yang lebih baik tersebut. [4]

Flowcart kontroler PID-PSO ditunjukkan pada gambar 4



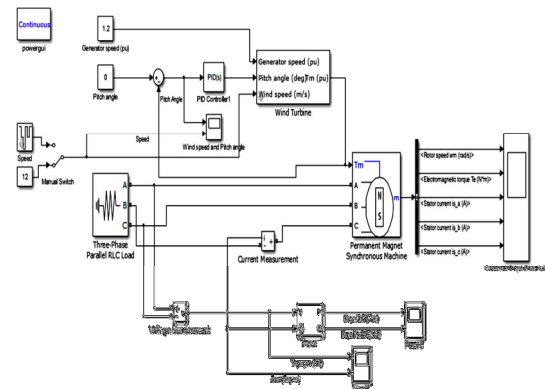
Gambar 2. Algoritma PSO [8]

## III. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (*Wind Turbine*), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga angin sebagai tenaga penggerakannya. Angin merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, *Wind Turbine* memiliki tiga komponen utama yaitu angin (sebagai sumber energi), turbin dan generator.

### 3.1. Model Wind Turbine

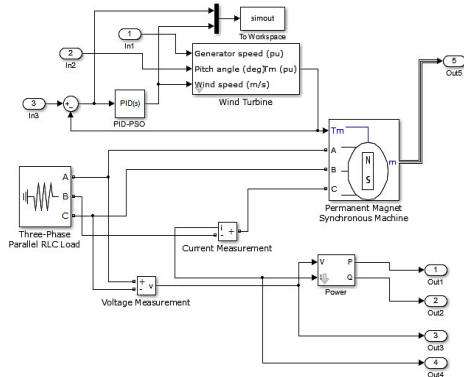
Diagram blok sistem *Wind Turbine* dapat dilihat pada gambar 3. dibawah ini:



Gambar 3. Diagram blok sistem *Wind Turbine*

### 3.2. Model Kontrol

Gambar pengaturan torsi dan putaran pada wind turbine dapat dilihat pada gambar 4. berikut ini:



Gambar 4. Pengaturan pada Wind Turbine

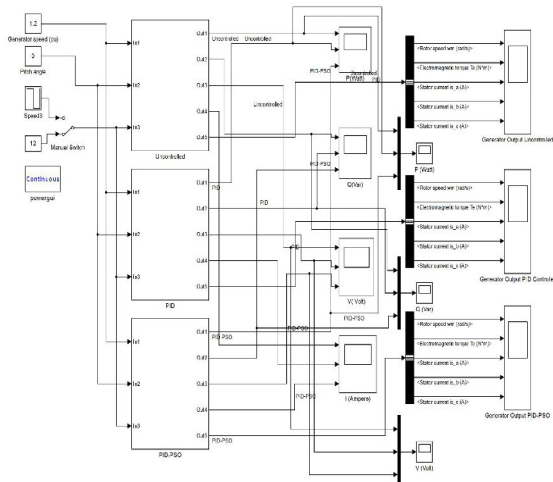
Dalam blok diagram diatas terlihat bahwa ada beberapa komponen dan peralatan pada wind turbin. Diantaranya angin sebagai sumber energy, turbin angin yang dikopel dengan generator untuk memutar generator.

Dengan memasukkan parameter-parameter dan running program pada plan pembangkit Wind Turbine didapatkan nilai konstanta PID pada masing-masing model. Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  pada PID dapat dilihat pada table 1. dibawah ini:

Tabel 1. Konstanta  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  Wind Turbine

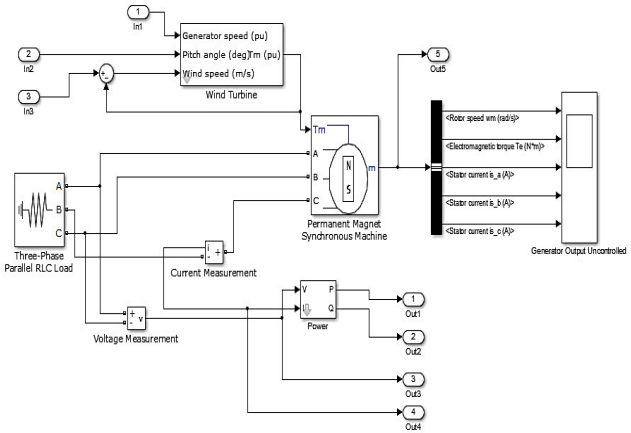
	Uncontrolled	PID	PID-PSO
$K_p$	-	1	0
$K_i$	-	1	6.654
$K_d$	-	0	0

Gambar rancangan simulasi Pembangkit Wind Turbine dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini:



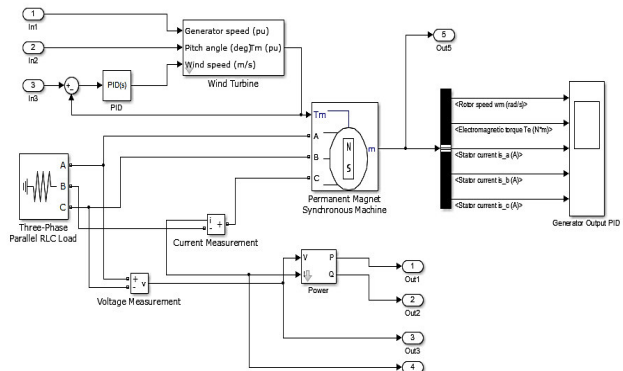
Gambar 5. Model Simulasi beberapa mcam control

Pada sub-sistem *Uncontrolled* atau tanpa adanya pengontrolan dapat dimodelkan seperti pada gambar 6.



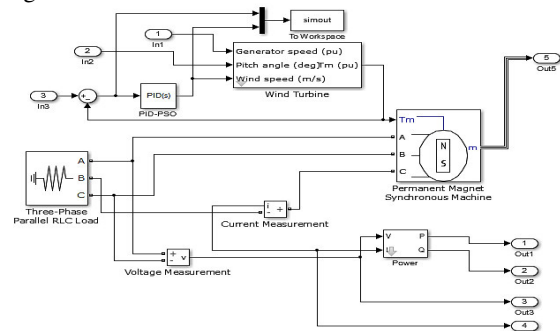
Gambar 6. Model Simulasi Uncontrolled

Pada sub-sistem *PID Controller* atau dengan pengontrolan PID controller dapat dimodelkan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Model Simulasi PID Controller

Pada sub-sistem *PID-PSO Controller* atau dengan pengontrolan PID-PSO controller dapat dimodelkan seperti pada gambar 8.



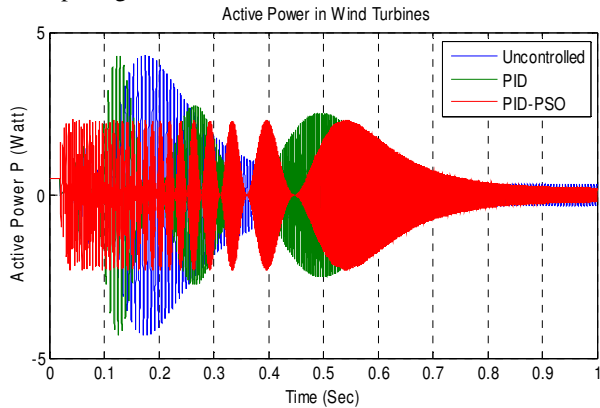
Gambar 8. Model Simulasi PID-PSO Controller

**3.3. Hasil Penelitian**

Dengan memasukkan parameter-parameter dan running program pada plant pembangkit hibrid wind-diesel didapatkan nilai konstanta PID pada masing-masing model.

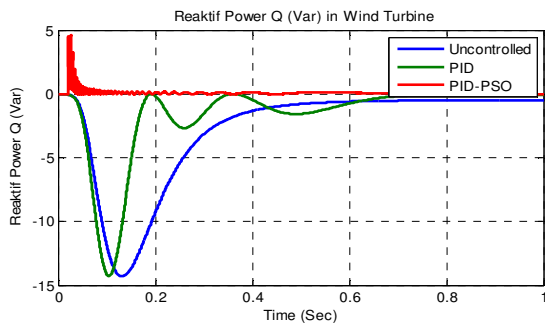
**A. Respon Wind Turbine**

Hasil output Daya Aktif (P) dalam satuan Watt dapat dilihat pada gambar 9. berikut ini:



Gambar 9. Daya Aktif (Watt)

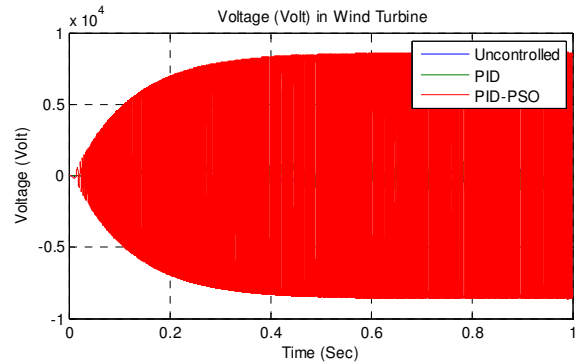
Gambar 9 menunjukkan rata-rata daya aktif pada uncontrolled paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,3305 Watt dengan 10/ms, untuk PID menunjukkan 1,4984 Watt dengan 20/ms, untuk model PID-PSO menunjukkan 2,165 Watt dengan 180/ms. Hasil output Daya Reaktif (Q) dalam satuan Var dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini:



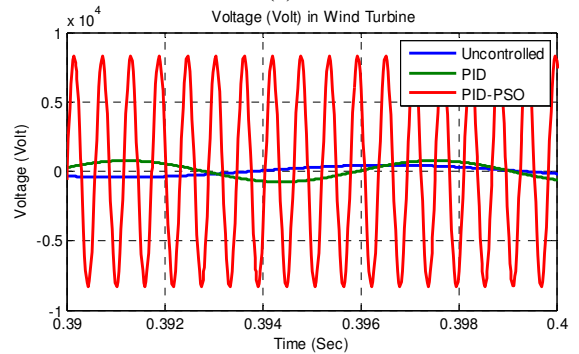
Gambar 9. Daya Reaktif (Var)

Gambar 9 menunjukkan rata-rata daya reaktif model uncontrolled adalah paling besar dan tidak stabil, yaitu -14,31 Var dengan 10/ms, untuk PID menunjukkan -1,5798 Var dengan 20/ms, untuk model PID-PSO yaitu -0,1821 Var dengan 180/ms.

Hasil output tegangan (V) dalam satuan Volt dapat dilihat pada gambar 10(a) dan 10(b). berikut ini:



(a) Real

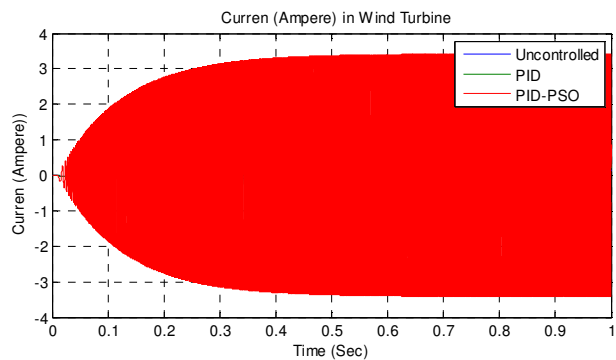


(b) Zoom

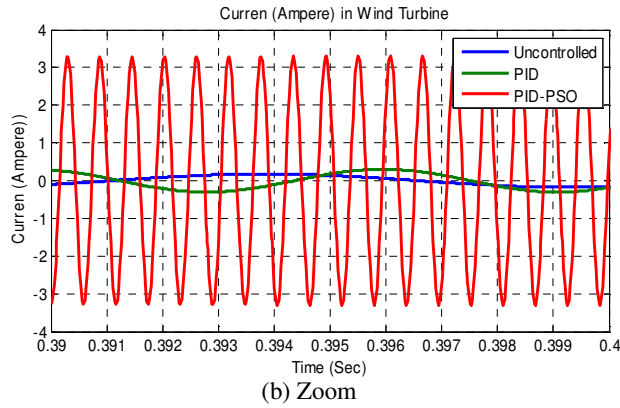
Gambar 10. Tegangan (Volt)

Gambar 11. menunjukkan bahwa arus maksimal model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,1807 A dengan 10/ms, PID menunjukkan arus 0,7155 A dengan 20/ms, model PID-PSO adalah 3,184 A dengan 180/ms..

Hasil output Arus (I) dalam satuan Ampere dapat dilihat pada gambar 11.(a) dan 11.(b). berikut ini:



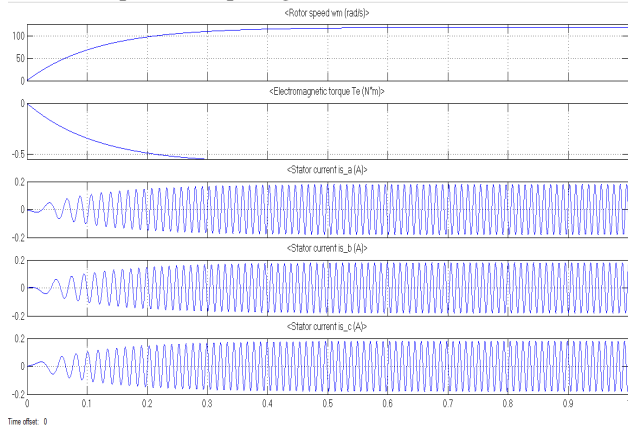
(a) Real



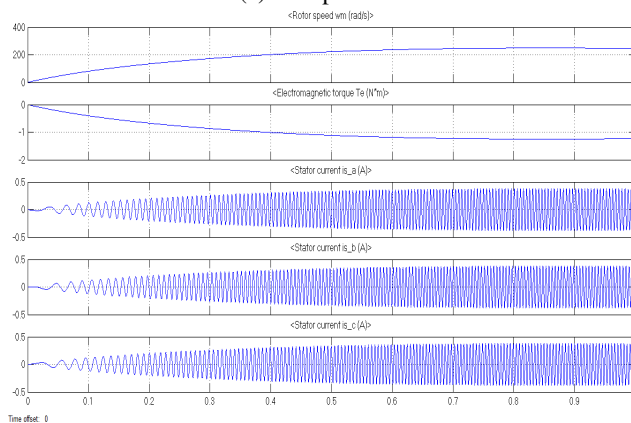
(b) Zoom  
**Gambar 11. Arus (Ampere)**

Gambar 11.a dan 11.b menunjukkan bahwa arus maksimal model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, yaitu 0,1807 A dengan 10/ms, PID menunjukkan arus 0,7155 A dengan 20/ms, model PID-PSO yaitu 3,172 A dengan 180/ms.

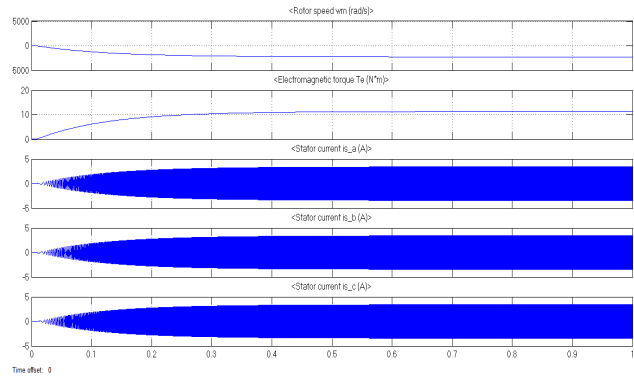
Hasil output Generator terdiri dari; Rotor speed  $\omega_m$  (rad/s), Electromagnetic Torque  $T_e$  (Nm), Stator current (A,B,C) dapat dilihat pada gambar 12a, 12b, dan 12c:



(a) Tanpa Controller



(b) Dengan PID Controller



(c) Dengan PID-PSO  
**Gambar 12. Hasil Output Generator**

Dari ketiga gambar output generator diatas menunjukkan bahwa daya yang bisa dibangkitkan pada model uncontrolled adalah paling kecil dan tidak stabil, dan model PID-PSO adalah yang terbaik

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi keempat model kontrol yang ditunjukkan pada gambar 9 sampai dengan gambar 12, menunjukkan bahwa PID-PSO merupakan model terbaik dengan daya aktif 2,282 Watt dengan 180/ms, daya reaktif -0,1391 Var dengan frekuensi 180/ms, dan output generator yang paling stabil dibandingkan dengan kontrol yang lain.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Li, T. A. Haskew, R. P. Swatloski, and W. Gathings, "Optimal and direct-current vector control of direct-driven PMSG wind turbines," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 5, pp. 2335–2337, 2012.
- [2] M. B. MIDA and S. A., "Pitch Angle Control for Variable Speed Wind Turbines," *J. Renew. Energy Sustain. Dev.*, pp. 81–88, 2015.
- [3] M. R. Djalal, A. Imran, M. Ali, and H. Setiadi, "Modifikasi Desain PID Controller Pada Permanent Magnet Synchronous Motor Dengan Flower Pollination Algorithm," *J. Tek. Elektro-ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 163–169, 2017.
- [4] M. Ali, Soedibyo, and I. Robandi, "Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)," in *SENTIA-2015, Polinema, Malang*, 2015, pp. B128–B131.
- [5] D. H. Kusuma, M. Ali, and N. Sutantra, "The comparison of optimization for active steering control on vehicle using PID controller based on artificial intelligence techniques," in *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017.
- [6] M. Ali, F. Hunaini, I. Robandi, and N. Sutantra,

- “Optimization of active steering control on vehicle with steer by wire system using Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” in *2015 3rd IEEE -International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2015*, 2015, pp. 500–503.
- [7] M. Ali and I. Robandi, “Desain Pitch Angle Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” *Pros. SENTIA 2015 – Politek. Negeri Malang*, vol. 7, no. 1, pp. 2085–2347, 2015.
- [8] T. Siswanto, D. H. Kusuma, and A. Raikhani, “Desain Optimal Load Frequency Control ( Lfc ) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ( Pltmh ) Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization ( Pso ) B-35 B-36,” *Pros. SENTIA 2016 – Politek. Negeri Malang*, vol. 8, pp. 35–39, 2016.
- [9] Muhlasin and M. Ali, “Auto-Tuning Method For Designing Matlab Dc Motor Speed Control With PID (Proportional Integral Derivative),” *ADRI Int. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–8, 2017.
- [10] M. N. Masrukhan, M. P. Mulyo, D. Ajiatmo, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Pid Dengan Tuning Ant Colony Optimization (ACO) Controller,” in *SENTIA-2016, Polinema, Malang*, 2016, pp. B49–B52.
- [11] M. Ali, I. Umami, and H. Sopian, “Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO),” *J. Intake*, vol. 6, no. 1, pp. 34–50, 2015.
- [12] M. Dorigo, M. Birattari, and T. Stutzle, “Ant colony optimization,” *IEEE Comput. Intell. Mag.*, vol. 1, no. 4, pp. 28–39, 2006.
- [13] M. Ali and A. Suhadak, “Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Patricle Swarm Optimization (PSO),” in *Semnasinotek 2017, UN PGRI, Kediri*, 2017, pp. 61–68.
- [14] H. Nurohmah, A. Raikhani, and M. ALI, “Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Radial Menggunakan Modified Firefly Algorithms (MFA) Pada Penyulang Tanjung Rayon Jombang,” *J. JEEUU*, vol. 1, no. 2, pp. 13–16, 2017.
- [15] M. Arrohman, R. Fajardika, Muhlasin, and M. Ali, “Optimasi Frekuensi Kontrol pada Sistem Hybrid Wind-Diesel Menggunakan PID Kontroler Berbasis ACO dan MFA,” in *SAINTEK II-2017, UB, Malang*, 2017, pp. 124–127.
- [16] Budiman, M. Ali, and M. R. Djalal, “Kontrol Motor Sinkron Permanen Magnet Menggunakan Algoritma Firefly,” in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 9–16.
- [17] M. Ali, “Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan PID Kontroler Yang Ditunning Dengan Firefly Algorithm,” *J. Intake*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2012.
- [18] H. Nurohmah, M. Ali, and M. R. B. Djalal, “Desain Frekuensi Kontrol pada Hibrid Wind-Diesel Dengan PID- Imperialist Competitive Algorithm (ICA),” *J. Intake*, vol. 6, no. 2, pp. 35–42, 2015.
- [19] Y. G. Hartlambang, H. Nurohmah, and M. Ali, “Optimasi Kecepatan Motor DC Menggunakan Algoritma Kelelawar (Bat Algorithm),” in *SEMANTIKOM 2017, Universitas Madura*, 2017, pp. 1–8.
- [20] M. Ali and H. Nurohmah, “The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System,” in *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 2017, pp. 215–218.
- [21] X. S. Yang, “Firefly Algorithm,” *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*, pp. 79–90, 2007.