

# PENGGUNAAN METHODE ANT COLONY ALGORITHM UNTUK PENGATURAN *PITCH* *ANGLE* PADA TURBIN ANGIN

Rukslin<sup>1</sup>, Muhlasin<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Elektro, Universitas Darul 'Ulum, Jombang  
E-mail : [rukslin@ft-undar.ac.id](mailto:rukslin@ft-undar.ac.id), [muhlasin@ft-undar.ac.id](mailto:muhlasin@ft-undar.ac.id)

**Abstrak** - Meningkatnya beban listrik ke konsumen sangat mempengaruhi pasokan listrik. Dampaknya apabila beban listrik bertambah maka daya yang dikeluarkan oleh *generator* menjadi bertambah. Sumber energi listrik yang berada di Indonesia secara umum didominasi oleh energi primernya berasal dari bahan batubara atau fosil. Sumber energi yang berasal dari batubara atau fosil merupakan bahan yang tergolong tidak terbarukan. Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan Pembangkit Listrik yang sumber energinya terbarukan apabila terjadi eksploitasi energi maka tidak akan membuat energi menjadi berkurang. Pada paper ini membahas tentang metode *Ant Colony Algorithm* (ACO) yang di gunakan untuk *tuning* PID controller dalam pengaturan *pitch angle* untuk mendapatkan kecepatan turbin yang optimal. Saat kecepatan angin rendah dibawah nilai rata - rata, pengaturan kecepatan harus dapat mempertahankan kecepatan pada sebuah level. Kemudian akan memberikan daya *output* yang maksimum, sehingga efisiensi turbin akan meningkat. Pengaturan *pitch angle* diperlukan dalam kondisi kecepatan angin diatas yang diinginkan. Perubahan kecil pada *pitch angle* dapat mempengaruhi *output* daya. *Pitch angle* kontrol adalah salah satu cara untuk menyesuaikan torsi aerodinamik pada turbin angin saat kecepatan angin berada diatas nilai kecepatan. Uji coba yang dilakukan hasil *running* program bahwa sistem *tuning* menggunakan metode ACO paling optimal dan stabil dibandingkan dengan metode PID Controller dan PID Ziegler-Nichols.

**Kata Kunci** – *Ant Colony Algorithms, pitch angle, Turbin Angin*

**Abstract** - Increasing of electricity load to consumers greatly affect the electricity

supply. The impact when the electrical load increases, so the power output by the generator becomes increased. Electrical energy which is in Indonesia in general, is dominated by primary energy is derived from coal or fossil materials. Energy derived from coal or fossil material is classified as not renewable. Power plants wind power is a power plant which renewable energy sources in this case if the case exploitation of energy resources, it will not make an energy source to be reduced. This paper discusses methods of Ant Colony Algorithm (ACO) that is used for tuning PID controller in the pitch angle settings to get optimal turbine speed. When the low wind speeds is below value - average. Then it will give maximum power output, so that the efficiency of the turbine will increase. Pitch angle control is one way to adjust the aerodynamic torque on the wind turbine when the wind speed is above the speed value. Results of running the program that the system tuning using method ACO most optimal and stable compared with the method of PID Controller and PID Ziegler-Nichols.

**Keywords** - *Ant Colony Algorithms, Pitch Angle, Wind Turbine*

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu perhatian yang harus dilakukan yaitu mendorong kepada para praktisi dan akademisi untuk mengkaji potensi-potensi lain pembangkit listrik yang sumber energinya terbarukan, misalnya cahaya matahari, tenaga panas bumi, atau potensi angin. Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan Pembangkit Listrik mempunyai keuntungan utama karena sifat bahannya terbarukan hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan

membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil.

*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. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan angin, *pitch angle* dan lain-lain. Oleh karena itu, *turbine* perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal [1].

Pada paper ini akan dibahas tentang *Ant Colony Algorithm* akan mengontrol *turbine* untuk dapat menghasilkan daya output PMSG optimal. Paper ini terdiri dari pendahuluan, Model *Wind Turbine*, *Ant Colony Algorithm*, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Model Wind Turbin

*Aerodinamis Wind turbine* bisa merubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator listrik [2]. Angin yang melewati turbin akan menghasilkan energi yang sama dengan energi yang transformasikan oleh turbin. Persamaan 1 merupakan persamaan dari energi kinetik.

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

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 kinetik

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

Daya mekanik dan torsi yang di transformasikan adalah seperti persamaan 8,9.

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

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

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%).

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

(5)

Dimana :

$\lambda$  = ratio kecepatan

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

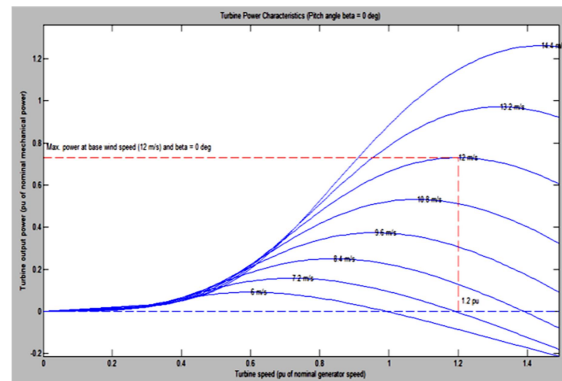
V = kecepatan angin

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

(6)

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

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. Wilayah operasi *wind turbine* dapat digambarkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik wind turbine

Wilayah operasi *wind turbine* terdapat tiga titik yang berbeda :

1. *Cut-in wind speed*: kecepatan angin terendah dimana *wind turbine* mulai menghasilkan daya listrik.
2. *Rated wind speed*: kecepatan angin pada saat *wind turbine* menghasilkan daya listrik, yang biasanya merupakan daya maksimum dari *wind turbine*.
3. *Cut-out wind speed*: kecepatan angin yang dapat menghentikan dan mematikan *wind turbine* agar terlindung dari kerusakan mekanik.[3]

### Mode Operasi Turbin Angin

Ada tiga mode untuk mengontrol *variable-speed pitch* pada *wind turbine*. Pemilihan mode operasi tergantung pada kecepatan angin yang tersedia dan jumlah daya yang dibutuhkan untuk mensuplai beban. Tiga mode tersebut adalah :

1. *Maximum Power Point Tracking* : Mode yang digunakan untuk mengkonversikan daya maksimum dari angin, pada saat kecepatan angin rendah akan mengikuti nilai koefisien daya. Daya mekanik yang dikonversikan adalah:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A C_{p,max} V^3 \quad (7)$$

2. *Blade Pitch control* : mode ini dioperasikan ketika kecepatan angin diluar dari nilai rata-rata, dalam situasi ini torsi elektromagnetik tidak cukup untuk mengontrol kecepatan rotor dengan demikian generator akan *overload*. Untuk menghindari hal ini, konversi daya *wind turbine* harus dibatasidan ini dapat dilakukan dengan mengurangi koefisien daya ( $C_p$ ) dari *wind turbine*. Koefisien daya dapat dimanipulasi dengan memvariasikan *blade pitch angle* ( $\beta$ ).

3. *Power Regulation* : dengan semakin banyaknya daya angin yang masuk pada sistem. Pada pengoperasian *wind turbine* tidak mungkin untuk menjaga agar daya yang dihasilkan konstan. Oleh karena itu, pengaturan tegangan dan frekuensi diperlukan, agar daya listrik yang dihasilkan sesuai dengan permintaan beban.[4]

### 2.2 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator sinkron dengan magnet permanen atau biasa disebut dengan *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), dapat dimodelkan dengan persamaan transformasi park. Persamaan didasarkan pada arus stator dan tegangan seperti persamaan 8,9.

$$v_{sd} = R_s i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_e \lambda_d \quad (8)$$

$$v_{sq} = R_s i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} - \omega_e \lambda_q \quad (9)$$

Dimana :

$v_{sd}$  dan  $v_{sq}$  = tegangan stator  
 $i_d$  dan  $i_q$  = arus stator  
 $R_s$  = resistansi belitan stator

Fluks pada stator dapat dituliskan seperti persamaan 10,11.

$$\lambda_d = L_{sd} i_d + \lambda_m \quad (10)$$

$$\lambda_q = L_{sq} i_q \quad (11)$$

Dimana

$\lambda_m$  = fluks magnetik inti  
 $L_{sd}$  dan  $L_{sq}$  = induktansi belitan stator

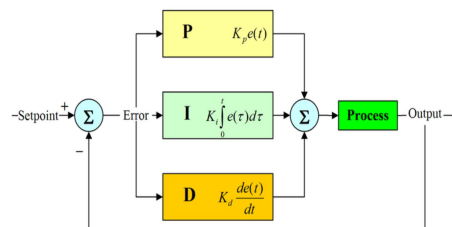
Torsi elektrik dari PMSG dapat dituliskan seperti persamaan 12.

$$T_e = \frac{3}{2} p [\lambda_m i_q - (L_{sq} - L_{sd}) i_q i_d] \quad (12)$$

Dimana  $p$  adalah jumlah pasang kutub PMSG.[5]

### 2.3 PID Controller

PID (*Proportional Integral Derivative*) *Controller* merupakan *controller* untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik / *feed back* pada sistem tersebut. Komponen PID terdiri dari 3 jenis, yaitu Proportional, Integratif, dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri, tergantung dari respon yang diinginkan terhadap suatu *plant*. [6]



Gambar 2. Blok Diagram PID Controller

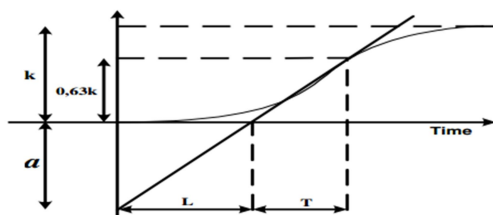
Ada 3 macam control PID yaitu *control Proportional, Integratif, dan Derivatif*. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon terhadap suatu plant

#### 2.4 Penelaan Pengendali PID

Penelaan pengendali PID adalah mencari nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$ . Ada beberapa metode penelaan yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode Ziegler-Nichols. Metode dasar penelaan Ziegler-Nichols dapat dibedakan menjadi dua.

##### 2.4.1 Metode ke-1 Ziegler-Nichols

Metode ke-1 didasarkan pada respon plant terhadap masukan tangga dalam kalang terbuka. Plant yang tidak mempunyai integrator, menghasilkan kurva tanggapan terhadap masukan tangga seperti kurva huruf S pada gambar 3. Kurva tanggapan plant digunakan untuk mencari waktu tunda  $L$  dan konstanta waktu  $T$ . [7]



Gambar 3. Kurva Tanggapan Berbentuk S

Parameter-parameter yang didapat dari kurva reaksi digunakan untuk menentukan parameter-parameter pengendali PID berdasarkan tetapan empiris Ziegler-Nichols. Rumus-rumus untuk parameter pengendali menggunakan metode kurva reaksi ditabelkan pada tabel 1.

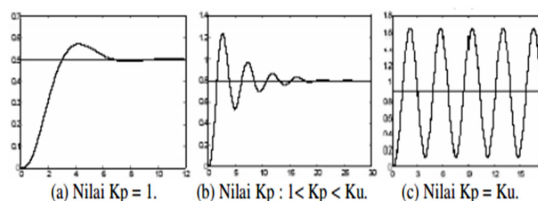
Tabel 1. Penelaan Ziegler-Nichols metode ke-1

Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/a$	-	-
PI	$0,9/a$	$3L$	-
PID	$1,2/a$	$2L$	$L/2$

##### 2.4.2 Metode ke-2 Ziegler-Nichols

Pada metode ke-2 penelaan dilakukan dalam kalang tertutup dimana masukan referensi yang digunakan adalah fungsi tangga (*step*). Pengendali 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*.

Tanggapan keluaran yang dihasilkan pada 3 kondisi penguatan proporsional ditunjukkan pada gambar 4. Sistem dapat beresolasi dengan stabil saat  $K_p = K_u$ . [7]



Gambar 4. Karakteristik keluaran suatu sistem dengan penambahan  $K_p$

Nilai *ultimated period*.  $T_u$ , diperoleh setelah keluaran sistem mencapai kondisi ang terus menerus berosilasi. Nilai periode dasar,  $T_u$  dan penguatan dasar,  $K_u$  digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta pengendali sesuai dengan tetapan empiris Ziegler-Nichols pada tabel 2 [7]

Tabel 2. Penelaan Ziegler-Nichols metode ke-2

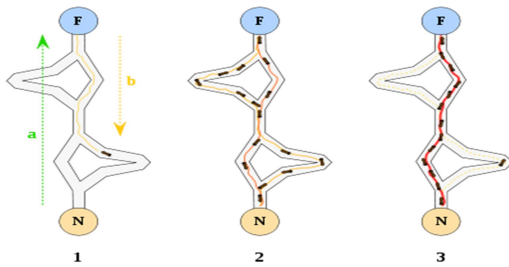
Pengendali	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$K_u/2$	-	-
PI	$4K_u/5$	$4T_u/5$	-
PID	$3K_u/5$	$T_u/2$	$3T_u/25$

##### 2.4 Ant Colony Algorithm (ACO)

Semut merupakan tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannanya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma ant colony Optimization ini. Pada awalnya berjalan secara acak, setelah mendapatkan kembali makanan untuk koloni

mereka juga meletakkan feromon atau jejak. Jika semut lain menemukan jalan semacam itu, mereka tidak akan bepergian secara acak, tapi semut tidak mengikuti jejak lagi, jika pada akhirnya mereka menemukan makanan baru. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu.

Langkah - langkah Penyelesaian Komputasi Pada ACO terlihat pada gambar 5.



Gambar 5.. Langkah-langkah komputasi ACO

Kemampuan individual terbatas semut telah mampu menemukan jalan terpendek antara sumber makanan dan sarang.

1. Semut pertama menemukan sumber makanan (F), melalui cara apapun (a), kemudian kembali ke sarang (N), meninggalkan jejak (b)
2. Semut berikutnya mengikuti empat cara yang mungkin, tetapi iya memilih jalur sebagai rute terpendek.
3. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak route yang panjang akan hilang.

Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas ij setelah dilewati:

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k$$

(13)

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas i-j, maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut

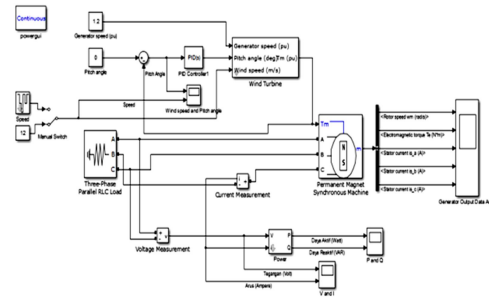
$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho)\tau_{i,j}; \forall(i,j) \in A$$

14)

Penurunan jumlah pheromone memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai [8]

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sistem *wind turbine*, mempunyai *input generator speed, pitch angle, wind speed*. Parameter Turbin = *Nominal mechanical Output power = 200 (W), Base Power of the electrical generator = 200/0,9 (VA), Base wind speed = 12 (m/s), Maximum Power at base wind speed = 0,73 (pu), Base rotation speed = 1.2 (pu), Pitch angle beta = 0 (deg)*, dan *pitch angle* ini yang akan dikontrol oleh *controller*. Pada PMSG diberikan *Stator Phase Resistance Rs = 0.0018 (ohm), Armature Inductance = 0.000835 (H), Voltage Constant = 400 (V\_peak L-L/ krpm), Torque Constant = 3,308 (N.m/ A\_peak)*. Pada beban tiga fasa *Active power P* sebesar 110 (W), *Nominal phase-to-phase voltage Vn = 400 (Vrms)*, dan *Nominal frequency fn = 50 (Hz)*. Desain controller dapat dilihat pada gambar 6.

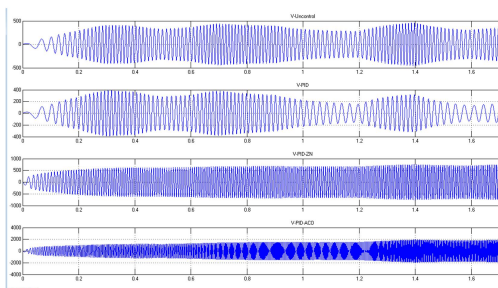


Gambar 6. Wind Turbine System

Hasil simulasi dari *wind turbine* dengan metode konvensional (*Ziegler-Nichols*), *PID-tuning ACO* dapat dilihat pada gambar 7 sampai 10. Dengan nilai perioda dasar pada turbin,  $T_u = 3$ , dan penguatan dasar  $K_u = 14.4$ , digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta *Ziegler-Nichols*  $K_p = 3K_u/5 = 8.64$ ,  $K_i = T_u/2 = 1.5$  dan  $K_d = 3T_u/25 = 0.36$ .

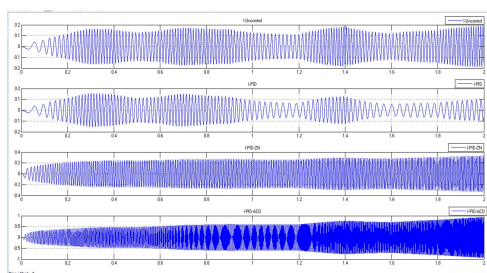
Table 3. Parameter Tuning PID

	Uncontrol	PID	PID_ZN	PID_ACO
$K_p$	-	1	7.2	9.73
$K_i$	-	1	0.6	4.5473
$K_d$	-	0	0.144	0.425



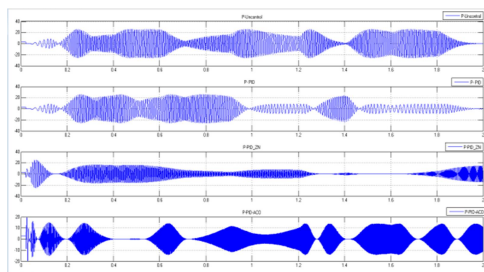
Gambar 7. Hasil simulasi Tegangan

Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai tegangan tanpa control = 380 V<sub>Peak</sub> L-L/krpm Tegangan (Volt) PID<sub>Standar</sub> = 276 V<sub>Peak</sub> L-L/krpm, PID<sub>ZN</sub> = 680 V<sub>Peak</sub> L-L/krpm dan PID<sub>ACO</sub> = 1300 V<sub>Peak</sub> L-L/krpm



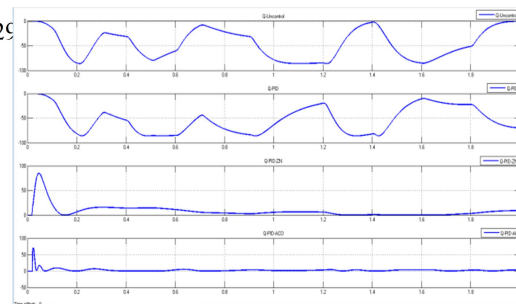
Gambar 8. Hasil simulasi Arus

Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai arus tanpa kontrol = 0.15 A. Arus PID = 0.105 A, Arus PID<sub>ZN</sub> = 0.3 A and Arus PID<sub>ACO</sub> = 0.7A



Gambar 9. Hasil simulasi Daya Aktif (P)

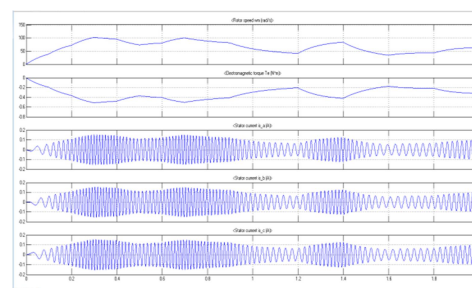
Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai Daya Aktif tanpa kontrol = 0 – 9 (W). Daya Aktif PID = 0 – 9 (W), Daya Aktif PID<sub>ZN</sub> = 0-25 (W) and Daya Aktif PID<sub>ACO</sub> = 13 – 21 (W)



Gambar 10. Hasil simulasi Daya Reaktif (Q)

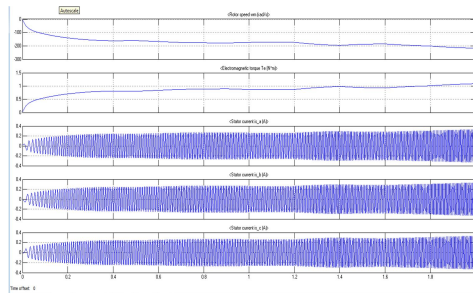
Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai Daya Reaktif tanpa kontrol = -86 – 0 (Var). Daya Reaktif PID = -86 - 0 (W), Daya Reaktif PID<sub>ZN</sub> = 0-85 (Var) and Daya Reaktif PID<sub>ACO</sub> = 0-85 (Var)

Hasil Output Generator dari wind turbine yang dikontrol oleh PID<sub>Standar</sub>, PID<sub>Ziegler-Nichols</sub>, dan PID<sub>ACO</sub> ditunjukkan pada gambar 9, 10 dan 11. Pada gambar terlihat bahwa daya output generator pada kontrol ACO jika dibandingkan dengan kontrol PID<sub>Ziegler-Nichols</sub> dan PID adalah lebih besar dan lebih stabil.



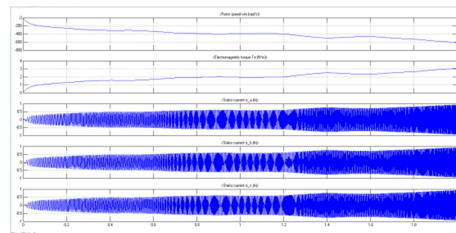
Gambar 11. Output Generator PID<sub>Standar</sub>

Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai Arus tiap phasa (Ampere) PID<sub>Standar</sub> = 0,15 Ampere,



Gambar 12. Output Generator PID\_ZN

Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai Arus tipa fasa (Ampere) PID\_ZN = 0,3 Ampere.



Gambar 13. Output Generator PID\_ACO

Dari Hasil running program didapatkan nilai-nilai Arus (Ampere) PID\_ACO = 0.7 Ampere.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba running program didapatkan :

1. Pada system wind turbine tanpa control didapatkan hasil Tegangan, Arus and daya tidak optimal.
2. Pada system wind turbine PID control didapatkan hasil Tegangan, Arus and daya tidak optimal
3. Pada system wind turbine PID controller Ziegler-Nichols didapatkan hasil Tegangan, Arus and daya lebih optimal
4. Pada system wind turbine PID\_ACO didapatkan hasil Tegangan, Arus and daya sangat optimal

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Machrus Ali, Soediby, Imam Robandi, *Desain Pitch Angle*

*Controller Turbin Angin Dengan Permanent Magnetic Synchronous Generator (PMSG) Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)*, SENTIA 2015, Volume 7 – ISSN: 2085-2347E

- [2]. Abdulhamed Hwas, Reza Katebi, *Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller*. *IFAC Conference on Advances in PID Control*, Brescia (Italy), March 28-30, 2012.
- [3]. Yousif El-Tous, *Pitch Angle Control of Variable Speed Wind Turbine*, *American J. of Engineering and Applied Sciences* 1 (2): 118-120, 2008, ISSN 1941-7020.
- [4]. Abdulhamed Hwas, Reza Katebi, *Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller*. *IFAC Conference on Advances in PID Control*, Brescia (Italy), March 28-30, 2012.
- [5]. Shuhui Li, Timothy A. Haskew, Richard P. Swatloski, William Gathings, *Optimal and Direct-Current Vector Control of Direct-Driven PMSG Wind Turbines*, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol.27, No.5, May 2012.
- [6]. P. Pieter, and D. Wiria, "Sistem pengendalian PID yang diaplikasikan pada pengendalian Steam Turbin dengan Single Variable Input dan Single Output," vol. 9, no. 2, pp. 140-154, Smartek, 2011
- [7]. E. C. Wijaya and I. Setiawan, "Auto Tuning PID Berbasis Metode Osilasi Ziegler-Nichols Menggunakan Mikrokontroler AT89S52 pada Pengendalian Suhu," pp. 1–12, 2005.
- [8]. Yang, X. S. (2009). "Ant Colony Optimization for multimodal optimization". *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, SAGA 2009. Lecture Notes in Computer Sciences 579

Seminar Nasional Inovasi Teknologi  
UN PGRI Kediri, 22 Februari 2017

ISBN : 978-602-61393-0-6  
e-ISSN : 2549-7952

*Halaman ini sengaja dikosongkan*