



Pitch Angle Design with Tunning Bat Algorithm (BA) on Wind Turbine Using PID Controller

(Desain Pitch Angle dengan Tunning Bat Algorithm (BA) pada Wind Turbine Menggunakan PID Controller)

Rukslin¹, Machrus Ali²

^{1,2} *Electrical Engineering Dept, Universitas Darul Ulum, Jombang, Indonesia*

rukslin05@gmail.com

machrus7@gmail.com

Abstract-Increased national economic growth has an impact on increasing electricity consumption in Indonesia every year. If the supply of electricity is not fulfilled and is not in line with the huge needs of the community, it will become a problem. The state must meet the demands for continuous and quality electrical energy needs. In general, coal is a primary energy source that is used as the basic material for power plants operating in Indonesia, coal is a fossil energy source that cannot be renewed and will someday experience a reduction, therefore alternative energy sources for power generation need to be considered. Alternative energy sources such as solar energy, bio gas energy, water flow energy, wind energy. Wind is a renewable natural resource, using the principle of energy conversion, namely by converting wind energy into electrical energy. Artificial Intelligent (AI)-based intelligent control has developed a lot to improve conventional controls to control so that the output voltage is always rated constant at varying loads. From the trials conducted, the results of the running program showed that the tuning system using the BA method obtained the most optimal and stable torque value of 1.04 - 4.75 Nm A_Peak when compared to the standard PID and PID_ZN methods.

Keywords: Components; Bat Algorithm (BA); Pitch Angles; Wind Turbine.

Abstract-Peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional berdampak pada meningkatnya konsumsi listrik di Indonesia setiap tahunnya. Bila dalam penyediaan listrik kurang terpenuhi dan tidak sejalan dengan kebutuhan masyarakat yang begitu besar maka akan menjadi masalah. Negara harus memenuhi tuntutan kebutuhan energi listrik yang terus-menerus dan berkualitas. Secara umum batu bara merupakan sumber energi primer yang digunakan sebagai bahan dasar pembangkit listrik yang beroperasi di Indonesia, batu bara merupakan sumber energi fosil yang tidak bisa diperbaharui dan suatu saat akan mengalami pengurangan, maka dari itu sumber energi alternatif untuk pembangkit listrik perlu dipikirkan. Sumber energi alternatif misalnya energi matahari, energi bio gas, energi aliran Air, energi angin. Angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui, dengan menggunakan prinsip konversi energi yaitu dengan mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Kendali cerdas berbasis *Artificial Intelligent* (AI) banyak berkembang untuk memperbaiki kendali konvensional untuk mengontrol agar tegangan keluaran selalu berada dinilai konstan pada beban yang berubah-ubah. Dari uji coba yang dilakukan hasil running program bahwa sistem tuning menggunakan metode BA didapatkan nilai torsi yang paling optimal dan stabil yaitu sebesar 1.04 – 4.75 Nm A_Peak jika dibandingkan dengan metode PID standar dan PID_ZN.

Kata Kunci : Komponen; Algoritma Kelelawar (BA); Sudut Pitch; Angin Turbin.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional sangat berpengaruh pada meningkatnya konsumsi listrik di Indonesia di setiap tahunnya. Energi bayu, merupakan sumber energi yang ada di alam dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi pembangkit listrik. Sumber energi yang berasal dari bayu tidak akan habis, sehingga pemanfaatannya akan berdampak yang baik terhadap masyarakat dan lingkungan sekitarnya.

Yang harus dilakukan dan menjadi perhatian adalah mendorong para akademisi dan para praktisi untuk mengkaji sumber energi angin, tenaga panas bumi, cahaya matahari, atau energi lainnya. Keuntungan pada Pembangkit Listrik tenaga bayu yaitu sifat bahan bakunya tidak mudah habis hal ini jika di gunakan secara terus menerus maka tidak akan membuat sumber energi bayu menjadi berkurang.

Agar menghasilkan energi listrik maka *wind turbine* harus di kopel dengan *generator sinkron* yang mempunyai magnet permanen. Kecepatan angin, *pitch angle* akan memengaruhi hasil kinerja pada *wind turbine*, dan akan menyebabkan kurang daya listrik [1]. Maka, *wind turbine* diperlukan alat kontroler supaya menghasilkan daya listrik yang optimal [2][3]

Pada paper ini dibahas tentang penggunaan metode kecerdasan buatan yaitu *Bat Algorithm* untuk mengendalikan *turbine* agar dapat mendapatkan nilai daya output pada PMSG yang optimal[4][4][5]. Paper ini terdiri dari pendahuluan, Model *Wind Turbine*, *Bat Algorithm*, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG).

II. LITERATUR REVIEW

A. Energi Angin

Untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin di rumuskan

$$E = 0,5mv^2 \tag{1}$$

dengan

- E : Energi (*joule*)
- v : kecepatan angin (m/detik)
- m : massa udara (kg)

Jika penampang didenisikan A (m²) yang dimiliki oleh suatu blok udara dan melaju pada kecepatan v m/detik[6], sehingga banyaknya massa yang melintasi suatu tempat adalah:

$$m = A.v.q \tag{2}$$

dimana

- v : kecepatan angin (m/detik)
- A : Penampang (m²)
- q : kepadatan udara (kg/m³)

Jika melihat rumusan 1 dan 2, dapat dihitung besaran daya yang diperoleh dari energi bayu sebagai berikut :

$$P = 0,5 v^3.A.q \text{ per satuan waktu} \tag{3}$$

dimana

- P : daya (W)
- v : kecepatan angin (m/det)

- q : kepadatan udara (kg/m³)
- A : penampang (m²)

Jika besaran pada kecepatan angin diperhatikan dan luas penampang sudu, maka diperoleh rumusan sebagai berikut :

$$P = v^3.k.A \tag{4}$$

dengan

- k : konstanta (1,37.10⁻⁵)
- P : daya (kW)
- A : penampang (m²)
- V : kecepatan angin (Km/jam)

Dari persamaan 4, nilai besaran A dan k di gambarkan sebagai konstanta. Pada dasarnya nilai besaran k mempunyai suatu factor seperti *efisiensi system* dan geseran, dan juga tergantung pada kecepatan angin v. luas penampang sudu A tergantung pada bentuk sudu. Untuk keperluan estimasi sementara dan sangat kasar, maka di gunakan rumusan :

$$P = 0,1 V^3 \tag{5}$$

dengan

- P : daya persatuan luas (W/m²)
- v : kecepatan angina (m/detik)

Terdapat tiga komponen gaya angin yang bekerja pada sudu kincir, yaitu sebagai berikut :

1. Memiliki arah sama dengan arah angin dinamakan gaya aksial a.
2. Meninggalkan titik tengah dinamakan gaya sentrifugal s.
3. Menghasilkan momen dinamakan gaya tangensial t, merupakan gaya produktif dan bekerja tegak lurus pada radius

[figure 1 about here.]

Gambar 1 memperlihatkan sebuah kincir dengan 3 sudu dengan gaya a, t dan s yang bekerja pada daun-daun sudu. Gaya-gaya tersebut dapat di hitung dan dirumuskan sebagai berikut :

- a = 0,00142 v²R² dalam Kg
- s = 367 RP/v₁v dalam Kg
- t = 0,00219 W v₂v²/R₁ dalam kg m

dengan

- P : daya (Kw)
- R : radius daun rotor (m)
- R₁ : radius hingga titik berat daun (m)
- v : kecepatan angin (m/detik)
- W : berat daun (Kg)
- v₁ : kecepatan relatif ujung sudu terhadap v
- v₂ : kecepatan relatif titik berat sudu ter hadap v
- a : gaya aksial
- s : gaya sentrifugal
- t : momen tangensial

B. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator sinkron dengan magnet permanen atau biasa disebut dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)[7][8], dapat dimodelkan dengan persamaan

transformasi park. Persamaan didasarkan pada arus stator dan tegangan seperti persamaan 5,6.

$$v_{sd} = R_s i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_e \lambda_d \tag{5}$$

$$v_{sq} = R_s i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} - \omega_e \lambda_q \tag{6}$$

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 5,6.

$$\lambda_d = L_{sd}i_d + \lambda_m \tag{7}$$

$$\lambda_q = L_{sq}i_q \tag{8}$$

Dimana

λ_m = fluks magnetik inti

L_{sd} dan L_{sq} = induktansi belitan stator

Torsi elektrik dari PMSG dapat dituliskan seperti persamaan 9[4][9].

$$T_e = \frac{3}{2}p [\lambda_m i_q - (L_{sq} - L_{sd})i_q i_d] \tag{9}$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bat Algorithm (BA)

Algoritma kelelawar diusulkan oleh Xin-She Yang, berdasarkan ekolokasi mikroba. Kelelawar biasanya menggunakan ekolokasi untuk mencari makanan. Selama pemindahan, kelelawar biasanya mengirimkan pulsa pendek, namun ketika mereka menemukan makanan, denyut nadi mereka meningkat dan frekuensinya naik[10][11][12]. Peningkatan frekuensi berarti penyesuaian frekuensi, yang mempersingkat waktu gema dan meningkatkan akurasi lokasi[13]. Dalam algoritma standar kelelawar, setiap individu memiliki posisi yang ditentukan $x_i(t)$ dan kecepatan $v_i(t)$ di ruang pencarian, yang akan diperbarui saat jumlah iterasi meningkat. Posisi baru $x_i(t)$ dan kecepatan $v_i(t)$ dapat :

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \tag{10}$$

$$v_i(t+1) = v_i(t) + (x_i(t) - p(t))f_i \tag{11}$$

$$f_i = f_{min} + (f_{maks} - f_{min}) \beta \tag{12}$$

Dimana β adalah vektor acak dengan distribusi seragam, kisarannya adalah [0,1]. $P(t)$ adalah solusi optimal global saat ini dan $f_{min}=0, f_{maks}=1$.

Seperti yang kita juga tahu, apakah BA memiliki kemampuan pencarian global dan lokal tergantung pada parameternya; Oleh karena itu, perlu untuk mencapai keseimbangan antara pencarian global dan kemampuan pencarian lokal dengan mengadopsi parameter adaptif. Formula untuk strategi pencarian lokal adalah sebagai berikut:

$$x_i(t+1) = hal \rightarrow (t \epsilon A(t)) \tag{13}$$

dimana ϵ adalah nomor acak dari [-1,1], $A(t)$ adalah keneyaringan rata-rata populasi. Selain itu, ini mencapai pencarian global dengan mengendalikan keneyaringan $A_i(t+1)$ dan denyut nadiri($t+1$).

$$A_i(t+1) = \alpha SAI(t) \tag{14}$$

$$r_i(t+1) = rI(0)[1 - \exp(-\gamma t)] \tag{15}$$

dimana α dan γ adalah konstanta dan $\alpha > 0, \gamma > 0$. $A_i(0)$ dan $rI(0)$ adalah nilai awal dari keneyaringan dan denyut nadi, masing-masing. Berikut ini menjelaskan langkah-langkah eksekusi dari algoritma standar kelelawar.

Langkah 1: Untuk setiap kelelawar, inialisasi posisi, kecepatan, dan parameter dan menghasilkan frekuensi secara acak dengan Persamaan (12).

Langkah 2: Perbarui posisi dan kecepatan setiap kelelawar dengan Persamaan (10) dan (11).

Langkah 3: Untuk setiap kelelawar, hasilkan angka acak ($0 < r \text{ and } d1 < 1$). Perbarui posisi temp dan hitung nilai kebugaran untuk kelelawar yang sesuai dengan Persamaan (4) jika $r \text{ and } d1 < rI(t)$.

Langkah 4: Untuk setiap kelelawar, hasilkan angka acak ($0 < r \text{ and } d2 < 1$). Memperbarui $A_i(t)$ dan $rI(t)$ dengan Persamaan (14) dan (15), masing-masing, jika $r \text{ and } d2 < A_i(t)$ dan $f(xI(t)) < f(p(t))$.

Langkah 5: Sortir setiap individu berdasarkan nilai kebugaran dan simpan posisi terbaik.

Langkah 6: Algoritma selesai jika kondisi terpenuhi, jika tidak, lanjutkan ke Langkah 2.

Langkah-langkah rinci tentang algoritma kelelawar standar disajikan pada Gambar 2.

[figure 2 about here.]

B. PID Controllers

Kontrol PID telah banyak digunakan pada industri khususnya aplikasi kontrol karena strukturnya simple, algoritma kontrol yang konperhensif, dan biayanya murah[14]. Berikut model skematik dari control PID ditunjukkan oleh Gambar 3 sebagai berikut:

[figure 3 about here.]

Kendali *signal* $u(t)$ merupakan kombinasi *linear* dari *error* $e(t)$, yaitu *Integral* dan *Derivatif*[15][16]

Persamaan dari sistem kendali PID dapat di rumuskan :

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{16}$$

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t)dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \tag{17}$$

dimana ;

K_p = *Proporsional Gain*

K_i = *Integral Gain*

K_D = *Derivatif Gain*

T_i = *Integral Time*

T_D = *Derivatif Time*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konstanta dan parameter turbin angin diperoleh dari karakteristik turbin angin

[figure 4 about here.]

Desain *wind turbine* tanpa kendali dan dengan kendali dapat dilihat pada gambar 5. Dari desain sistem tersebut dimasukkan nilai parameter-parameternya.

[figure 5 about here.]

Hasil simulasi dari *wind turbine* dengan metode manual (Ziegler-Nichols), dengan PID-tuning BA dapat dilihat pada gambar 7,8,9 dan 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 $K_d = 3T_u/25 = 0.36$. Hasil nilai sistem kendali pada tabel 1

[tabel 1 about here.]

A. Result running program kecepatan angin

Kecepatan angin di buat manual untuk semua *control* dengan parameter *amplitudo* dan waktu yang sama.

[figure 6 about here.]

Dari nilai kecepatan angin maka di peroleh grafik kecepatan angin seperti pada gambar 6. Dimana nilai kecepatan angin baik ada kendali maupun tidak ada kendali memiliki nilai yang sama.

[figure 7 about here.]

B. Result running program pitch angle

Pada saat *running pitch angle* di peroleh hasil sebagai berikut

[tabel 2 about here.]

Hasil *pitch angle* mengikuti perubahan kecepatan angin di tunjukkan pada gambar 8.

[figure 8 about here.]

C. Result running program torsi mekanik

Pada saat sistem di jalankan maka diperoleh nilai torsi mekanik dalam Nm A_{Peak} sebagai berikut :

[tabel 3 about here.]

Nilai sudut *pitch angle* di mulai 6 (deg) dengan nilai torsi tanpa kendali bernilai negatif. Saat diberikan sistem kendali maka ada perubahan perbaikan nilai torsi mengikuti perubahan kecepatan angin. Seperti pada gambar 9.

[figure 9 about here.]

D. Result running program pada tegangan

Besaran nilai tegangan pada saat sistem di jalankan dalam V_{Peak} L-L/krpm sebagai berikut :

[tabel 4 about here.]

Grafik hasil tegangan di tunjukkan pada gambar 10.

[figure 10 about here.]

V. KESIMPULAN

Dari hasil running dapat disimpulkan bahwa nilai *Pitch Angle* PID_BA lebih baik yaitu sebesar 65 – 70 (deg), nilai tegangan PID_BA juga lebih baik yaitu sebesar 3100 V_{Peak} L-L/krpm dan nilai torsi PID_BA lebih optimal yaitu sebesar 1.04 – 4.75 Nm A_{Peak} .

VI. REFERENSI

- [1] Rukslin, M. Haddin, and A. Suprajitno, "Pitch angle controller design on the wind turbine with permanent magnet synchronous generator (PMSG) base on firefly algorithms (FA)," in *Proceedings - 2016 International Seminar on Application of Technology for Information and Communication, ISEMANTIC 2016*, 2017, pp. 13–17, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2016.7873802.
- [2] P. J. Schubel and R. J. Crossley, "Wind turbine blade design," *Energies*, vol. 5, no. 9. pp. 3425–3449, 2012, doi: 10.3390/en5093425.
- [3] 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.
- [4] 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, [Online]. Available: <http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2015/article/view/186>.
- [5] W. Krisdianto, J. F. Miftachul, N. Dwi, Ajiatmo; Hidayatul, and A. Machrus, "Pengontrol PID Optimasi pada Wind-Turbine Berbasis Ant Colony Optimization dan Firefly Algorithm," *SinarFe7*, vol. 1, no. 1, pp. 128–133, 2018.
- [6] R. Yunginger and N. S. Nawir, "Analisis Energi Angin Sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik Di Kota Di

- Gorontalo,” *Univ. Negeri Gorontalo*, vol. 15, pp. 1–15, 2015.
- [7] M. Makhad, M. Zazi, and A. Loulijat, “Nonlinear control of WECS based on PMSG for optimal power extraction,” *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 3, pp. 2815–2823, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i3.pp2815-2823.
- [8] M. W. Khan, J. Wang, L. Xiong, and M. Ma, “Fractional order sliding mode control of PMSG-wind turbine exploiting clean energy resource,” *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 8, no. 1, pp. 81–89, 2019, doi: 10.14710/ijred.8.1.81-89.
- [9] M. R. Djalal, M. Ali, H. Nurohmah, and D. Ajiatmo, “Aplikasi Algoritma Differential Evolution untuk Desain Optimal Load Frequency Control pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Angin dan Diesel,” *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 5, p. 511, 2018, doi: 10.25126/jtiik.201855430.
- [10] I. Fister, D. Fister, and X. S. Yang, “A hybrid bat algorithm,” *Elektroteh. Vestnik/Electrotechnical Rev.*, vol. 80, no. 1–2, pp. 1–7, 2013.
- [11] M. Ali and M. Ulum, “Kontrol Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan Hibrid Kontroler PID-BA-ANFIS,” *J. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 332–340, 2020.
- [12] M. Ali, T. Fahmi, D. W. Khaidir, and H. Nurohmah, “Optimizing Single Axis Tracking for Bat Algorithm-based Solar Cell,” *J. FESPE*, vol. 2, no. 2, pp. 1–5, 2020.
- [13] S. N. Z. Ahmmad and F. Muchtar, “A review on applications of optimization using bat algorithm,” *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1.1 Special Issue, pp. 212–219, 2020, doi: 10.30534/ijatcse/2020/3791.12020.
- [14] M. Ali, A. Raikhani, B. Budiman, and H. Sopian, “Algoritma Persaingan Imperialis Sebagai Optimasi Kontroler PID dan ANFIS Pada Mesin Sinkron Magnet Permanen,” *JEEU (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 3, no. 1, pp. 57–81, 2019, doi: 10.21070/jeeu.v3i1.2023.
- [15] M. Ali, I. Umami, and H. Sopian, “Particle Swarm Optimization (PSO) Sebagai Tuning PID Kontroler Untuk Kecepatan Motor DC,” *J. Intake*, vol. 7, no. 1, pp. 10–20, 2016, [Online]. Available: <http://ejournal.undar.ac.id/index.php/intake/article/view/382>.
- [16] M. Ali, H. Nurohmah, Budiman, J. Suharsono, H. Suyono, and M. A. Muslim, “Optimization on PID and ANFIS Controller on Dual Axis Tracking for Photovoltaic Based on Firefly Algorithm,” in *ICEEIE 2019 - International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering: Emerging Innovative Technology for Sustainable Future*, 2019, pp. 53–57, doi: 10.1109/ICEEIE47180.2019.8981428.

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Sistem Kendali	46
Tabel 2. Hasil Pitch Angel.....	46
Tabel 3. Hasil Torsi Mekanik.....	46
Tabel 4. Hasil Tegangan	46

Tabel 1. Nilai Sistem Kendali

	Tanpa kendali	PID Standar	PID_ZN	PID_BA
Kp	-	1	7,2	36,535
Ki	-	1	0,6	6,3236
Kd	-	0	0,144	0,097

Tabel 2 Hasil Pitch Angle

	Tanpa kendali	PID Standar	PID_ZN	PID_BA
Pitch angle	6 (deg)	6,4 – 19,1 (deg)	40 – 40,6 (deg)	65 – 70 (deg)

Tabel 3. Hasil Torsi Mekanik

	Tanpa kendali	PID Standar	PID_ZN	PID_BA
Torsi Mekanik	- 0.7 – (-0.38)	- 0.62 – (-0.2)	0.8 – 1.2	1.04 – 4.75

Tabel 4. Hasil Tegangan

	Tanpa kendali	PID Standar	PID_ZN	PID_BA
Tegangan	380	390	680	3100

DAFTAR GAMBAR

Figure 1. Kincir Angin Dengan 3 Sudut.....	48
Figure 2. Diagram Alir Algoritma Kelelawar Standar (BA)	48
Figure 3. Blok Diagram PID Controller	48
Figure 4. Parameter Wind Turbine	49
Figure 5. Wind Turbine System	49
Figure 6. Source Blok Parameters Speed	49
Figure 7. Hasil Simulasi Kecepatan Angin	50
Figure 8. Hasil Simulasi Pitch Angel	50
Figure 9. Hasil Simulasi Torsi	50
Figure 10. Hasil Simulasi Tegangan	51

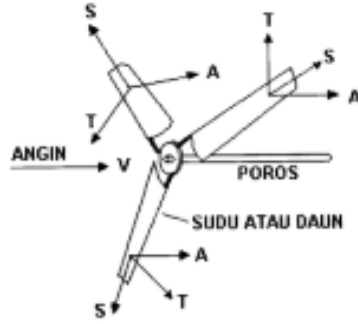


Figure 1. Kincir Angin Dengan 3 Sudu

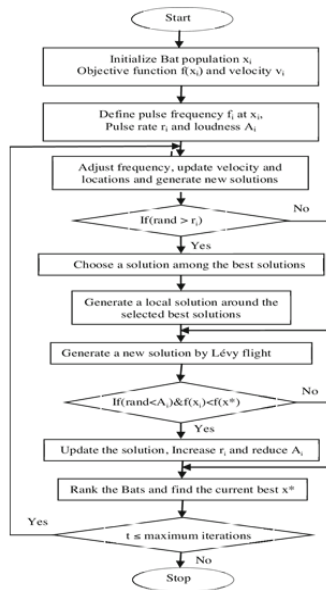


Figure 2. Diagram Alir Algoritma Kelelawar Standar (BA)

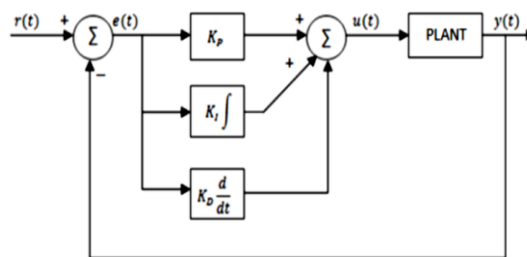


Figure 3. Blok Diagram PID Controller

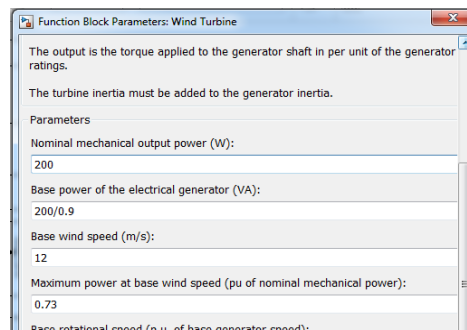


Figure 4. Parameter Wind Turbine

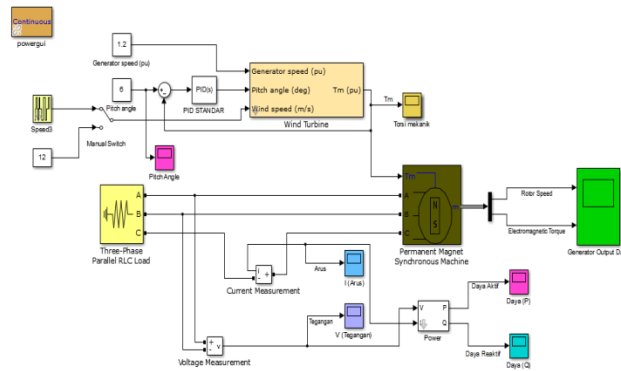


Figure 5. Wind Turbine System

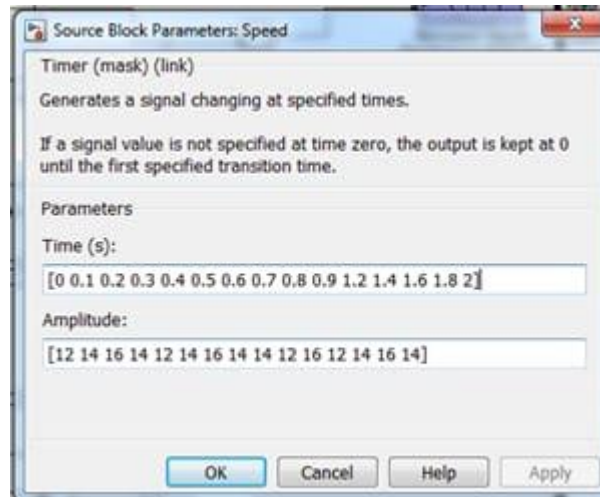


Figure 6. Source Blok Parameters Speed

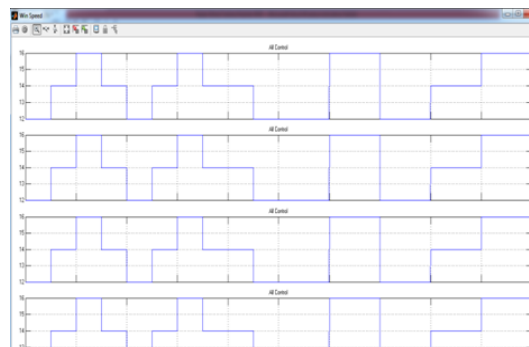


Figure 7. Hasil Simulasi Kecepatan Angin

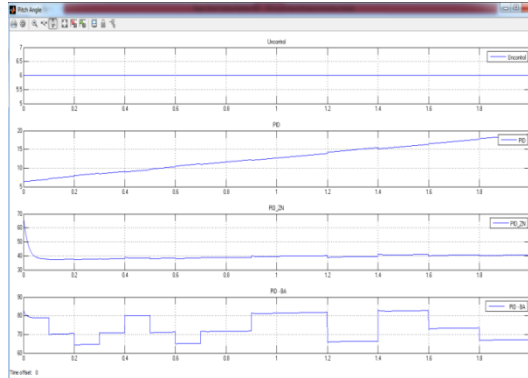


Figure 8. Hasil Simulasi Pitch Angel

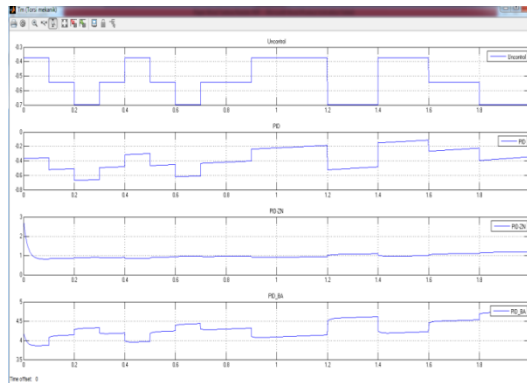


Figure 9. Hasil Simulasi Torsi

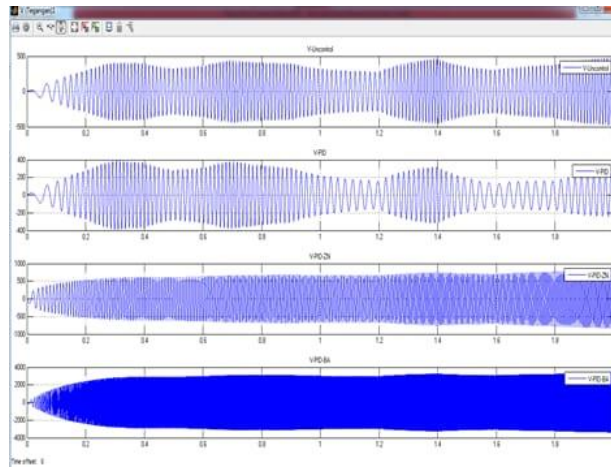


Figure 10. Hasil Simulasi Tegangan