

DESAIN OPTIMASI PITCH ANGLE PADA WIND TURBINE MENGGUNAKAN PID CONTROLLER BERBASIS MODIFIED FIREFLY ALGORITHM

Ahmad Fajar Rohmatullah¹ Machrus Ali² Rukslin³

^{1,2}Electrical Engineering Dept., Universitas Darul Ulum, Jombang, Indonesia
machrus7@gmail.com, rukslin05@gmail.com,

Abstract— *The need for electricity in Indonesia continues to increase every year considering the increasing population in Indonesia. Indonesia's large electricity consumption will be a problem if the supply is not in line with the needs. Power plants operating in Indonesia are generally dominated by power plants that use coal or fossil fuels as their main fuel. This needs special attention and anticipation in advance, given that coal is a non-renewable material. One of the concerns that must be done is to encourage practitioners and academics to study other potentials of power plants with renewable energy sources. Wind Power Generation is a power plant that has the main advantage because the nature of the material is renewable, this means that the exploitation of this energy source will not reduce wind resources like the use of fossil fuels. This paper discusses the Modified Firefly Algorithm (MFA) method as a Proportional Integrator Derivative (PID) controller tuning parameter to adjust the wind turbine speed with pitch angle control. MFA controller is used to control the pitch angle of the wind turbine with a Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). When the wind speed is low below the average value, the speed regulation must be able to maintain the speed at a level. Then it will provide maximum output power, so that the turbine efficiency will increase. Setting the pitch angle is required in conditions of wind speed above the desired. Small changes in pitch angle can affect power output. Pitch angle control is one way to adjust the aerodynamic torque of the wind turbine when the wind speed is above the rated speed. From the trials conducted, the results of the running program show that the tuning system uses the most optimal MFA method which produces a pitch angle value of 65.4 - 85.6 (deg) and a mechanical torque value of 4.045 - 4.98 compared to Uncontrol, the PID Controller method and Ziegler-Nichols PID method.*

Keywords—*component; Modified firefly Algorithm (MFA); Pitch Angle; Turbin Angin;*

Abstract— *Kebutuhan listrik di Indonesia setiap tahunnya terus meningkat mengingat meningkatnya populasi penduduk yang ada di Indonesia. Komsumsi listrik Indonesia yang begitu besar akan menjadi masalah bila dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan. Pembangkit listrik yang beroperasi di Indonesia secara umum didominasi dengan pembangkit yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah Batu bara atau fosil, Hal ini perlu mendapatkan perhatian khusus danantisipasi sebelumnya, mengingat bahwa batubara merupakan bahan yang tergolong tidak terbarukan. Salah satu perhatian yang harus dilakukan yaitu mendorong kepada para praktisi dan akademisi untuk mengkaji potensi-potensi lain pembangkit listrik yang sumber energinya terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan Pembangkit Listrik mempunyai keuntungan utama karena sifat bahannya terbarukan hal ini berarti aksplorasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin yang berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil. Pada paper ini membahas tentang metode Modified Firefly Algorithm (MFA) sebagai tuning parameter Proportional Integrator Derivative (PID) controller untuk mengatur kecepatan turbin angin dengan pitch angle kontrol. MFA controller digunakan untuk mengontrol pitch angle pada turbin angin dengan Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). 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. Dari uji coba yang dilakukan hasil running program bahwa sistem tuning menggunakan metode MFA paling optimal yang menghasilkan nilai pitch angle sebesar*

65,4 – 85,6 (deg) dan nilai torsi mekanik sebesar 4,045 – 4,98 dibandingkan dengan Uncontrol, metode PID Controller dan metode PID Ziegler-Nichols.

Keywords—component; Modified firefly Algorithm (MFA); Pitch Angle; Turbin Angin;

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Krisis listrik ini sudah sejak lama menjadi persoalan dan telah dipredikasi oleh banyak ahli energi di Indonesia sejak sepuluh tahun yang lalu. Kebutuhan energi dapat meningkat secara bertahap, baik ditinjau dari kapasitasnya, kualitasnya maupun ditinjau dari tuntutan distribusinya.

Pembangkit listrik yang beroperasi di Indonesia sekarang secara umum didominasi dengan pembangkit yang bahan utamanya menggunakan batubara, Hal ini perlu mendapatkan perhatian khusus dan antisipasi sebelumnya, mengingat bahwa batubara merupakan bahan bakar yang tergolong tidak terbarukan. Salah satu perhatian yang harus dilakukan yaitu mendorong kepada para praktisi dan akademisi untuk mengkaji potensi-potensi lain pembangkit listrik yang sumber energinya terbarukan, seperti cahaya matahari, tenaga panas bumi, potensi air atau potensi angin. Maka dari itu penulis akan mencoba menteliliti salah satu potensi yang bisa dikembangkan di Indonesia yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Angin merupakan Pembangkit Listrik yang mempunyai keuntungan utama karena sifat bahannya terbarukan hal ini berarti eksploitasi sumber energi ini tidak akan membuat sumber daya angin berkurang seperti halnya penggunaan bahan bakar fosil.

Kontrol cerdas berbasis Artificial Intelligent sudah banyak berkembang untuk memperbaiki kontrol konvensional. Oleh sebab itu pada tugas penelitian ini akan mendesain model kontrol pitch angle menggunakan kontrol PID yang dituning dengan Artificial Intelligence (AI) Modified firefly untuk mengontrol pitch angle pada sistem pembangkit tenaga angin. Untuk mendapatkan performance steady state error, settling time dan overshoot yang lebih baik. Dengan latar belakang tersebut diatas penulis berkeinginan untuk melakukan penelitian dengan judul : Desain Optimasi Pitch Angle Pada Wind Turbine menggunakan propotional integral derivative (PID) Controller berbasis Modified Firefly Algoritim (MFA).

II. LITERATUR REVIEW

A. Energi Angin

Untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin di rumuskan

$$E = 0,5mv^2 \quad (1)$$

dimana

E : Energi (joule)

m : massa udara (kg)

v : kecepatan angin (m/detik)

Bila sutau blok udara yang mempunyai penampang $A \text{ m}^2$, dan bergerak dengan kecepatan $v \text{ m/detik}$, maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A.v.q \quad (\text{Kg/det}) \quad (2)$$

dengan

A : Penampang (m^2)

v : kecepatan angin (m/detik)

q : kepadatan udara (kg/m^3)

dengan melihat persamaan 1 dan 2, bisa dihitung daya yang dihasilkan dari energi angin sebagai berikut :

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

dengan

P : daya (W)

q : kepadatan udara (kg/m^3)

A : penampang (m^2)

v : kecepatan angin (m/det)

Dengan memperhatikan besaran kecepatan angin dan luas penampang sudu, maka didapatkan rumusan sebagai berikut :

$$P = k.A.v^3 \quad (4)$$

dengan

P : daya (kW)

k : konstanta ($1,37.10^{-5}$)

A : penampang (m^2)

V : kecepatan angina (Km/jam)

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

$$P = 0,1 V^3 \quad (5)$$

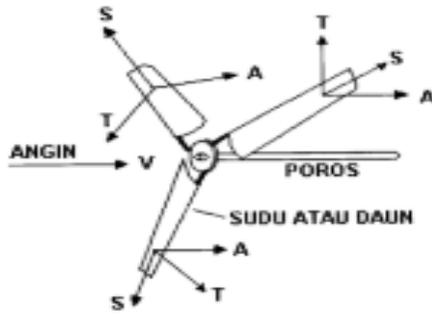
dengan

P : daya persatuan luas (W/m^2)

v : kecepatan angina (m/detik)

Gaya-gaya angin yang bekerja pada sudu sudu kincir pada dasarnya terdiri atas tiga komponen, yaitu sebagai berikut :

1. Gaya aksial a, yang mempunyai arah sama dengan arah angin
2. Gaya sentrifugal s, yang meninggalkan titik tengah
3. Gaya tangensial t, yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus pada radius dan yang merupakan gaya produktif.



Gambar 1. Kincir angin dengan 3 sudu

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 :

$$\begin{aligned} a &= 0,00142 v^2 R^2 \text{ dalam Kg} \\ s &= 367 RP/v_1 v \text{ dalam Kg} \\ t &= 0,00219 W v_2 v^2 / R_1 \text{ dalam kg m} \end{aligned}$$

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 terhadap 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), dapat dimodelkan dengan persamaan transformasi park. Persamaan didasarkan pada arus stator dan tegangan seperti persamaan 5,6.

$$v_{sd} = R_s i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_e \lambda_q \quad (5)$$

$$v_{sq} = R_s i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} - \omega_e \lambda_d \quad (6)$$

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.

$$\lambda_d = L_{sd} i_d + \lambda_m \quad (7)$$

$$\lambda_q = L_{sq} i_q \quad (8)$$

Dimana

- λ_m = fluks magnetik inti
- L_{sd} dan L_{sq} = induktansi belitan stator

Torsi elektrik dari PMSG dapat dituliskan seperti persamaan 9.

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

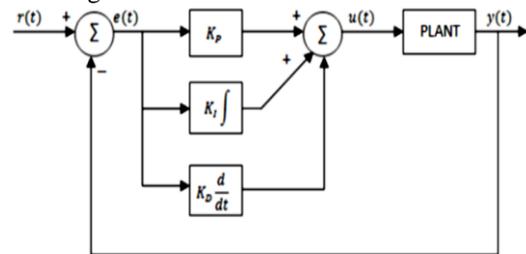
III. METODOLOGI PENELITIAN

A. MODIFIED FIREFLY ALGORITHM (MFA)

1. Dengan memodifikasi nilai *beta* pada setiap iterasi dengan persamaan pada program $\beta_{t+1} = 0.1 + (0.8 * (k_q / \text{MaxGeneration}))$; Nilai *beta* pada setiap iterasi akan berubah (bertambah) mulai dari 0.1 pada iterasi pertama sampai 0.9 pada iterasi terakhir. Pada iterasi pertama diberikan nilai *betamin* sebesar 0.1 bertujuan untuk memberikan acang-acang *firefly* dalam mencari target. pada iterasi berikutnya nilai *betamin* bertambah sampai target akhir terlihat jelas. Karena target akhir sudah terlihat jelas maka nilai *betamin* (kecepatan) diberikan nilai maksimal (0.9).
2. Dengan memodifikasi nilai *alpha* pada setiap iterasi dengan persamaan pada program $\alpha_{t+1} = 0.9 - (0.8 * (k_q / \text{MaxGeneration}))$; Nilai *alpha* pada setiap iterasi akan berubah (berkurang) mulai dari 0.9 pada iterasi pertama sampai 0.1 pada iterasi terakhir. Pada iterasi pertama *alpha* (*fleksibilitas*) diberikan nilai maksimum (0.9), pada iterasi berikutnya nilai *alpha* berkurang sampai terlihat target akhir. Karena target sudah terlihat jelas maka nilai *alpha* diberikan nilai minimal (0.1).
3. Nilai $\gamma = 0$, tidak diperlukan karena bukan merupakan kasus yang sangat

B. PID Controllers

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



Gambar 2. Blok Diagram PID Controller

Control signal $u(t)$ adalah kombinasi linear dari error $e(t)$, yaitu Integral dan Derivatif

Persamaan dari kontrol PID adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (16)$$

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

dimana ;

K_p = Proporsional Gain

K_i = Integral Gain

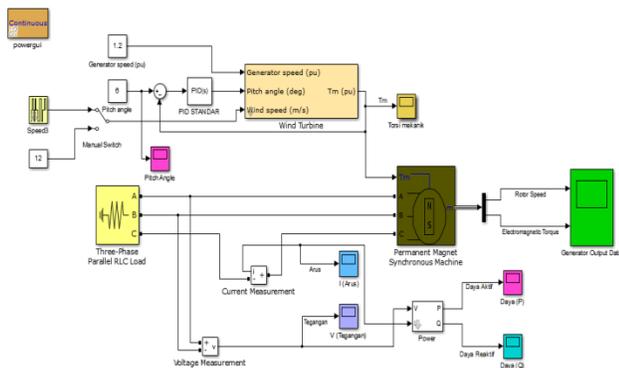
K_D = Derivatif Gain

T_i = Integral Time

T_D = Derivatif Time

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

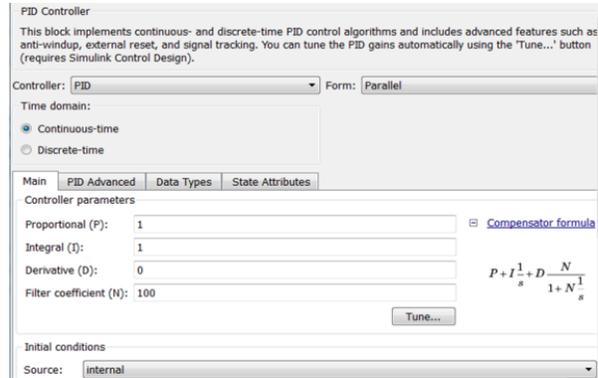
System wind turbine, mempunyai input generato r speed, pitch angle, wind speed. Parameter Turbine = Nominal mechanical Output power = 200 (W), Base Power of the electrical generator = 200/0,9 (VA), Base wind speed = 12 (m/s), Maximum Power at base wind speed = 0,73 (pu), Base rotation speed = 1.2 (pu), Pitch angle beta = 0 (deg), dan pitch angle ini yang akan dikontrol oleh controller. Pada PMSG diberikan Stator Phase Resistance $R_s = 0.0018$ (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 $V_n = 400$ (Vrms), dan Nominal frequency $f_n = 50$ (Hz). Desain wind turbine pada gambar 3.



Gambar 3. Wind Turbine System

A. PID Controller

Pada parameter PID Controller untuk menentukan nilai K_p , K_i dan K_d dengan coba - coba. Sedangkan pada penulisan ini nilai dibuat standar yaitu $K_p = 1$, $K_i = 1$ dan $K_d = 0$ dan dimasukkan kedalam PID Controller seperti pada gambar 4



Gambar 4. Parameter Kontrol PID

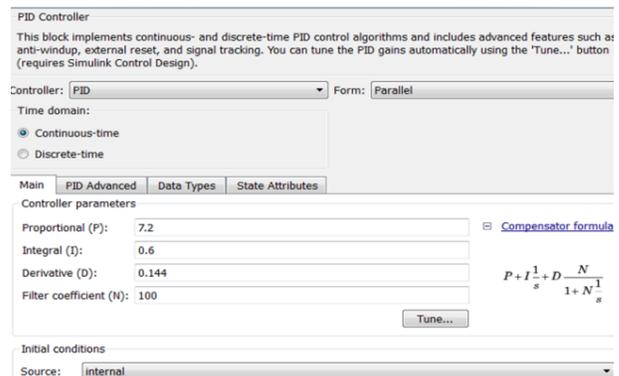
B. PID_Ziegler Nichols

Pada desain wind turbine menggunakan kontrol PID_ZN harus menentukan nilai dari K_p , K_i dan K_d pada gambar 3.4 karakteristik wind turbine maka dapat di tentukan nilai K_u sebesar 12 dan T_u sebesar 1.2 dengan demikian jika menggunakan rumusan Ziegler-Nichols.

Table 1. Rumusan Ziegler-Nichols.

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

Pada hasil perhitungan ziegler-nichols jika di masukkan kedalam matlab



Gambar 5. Parameter Kontrol PID_ZN

C. PID_MFA

Pada desain wind turbine menggunakan kontrol PID_MFA untuk menentukan nilai K_p , K_i dan K_d

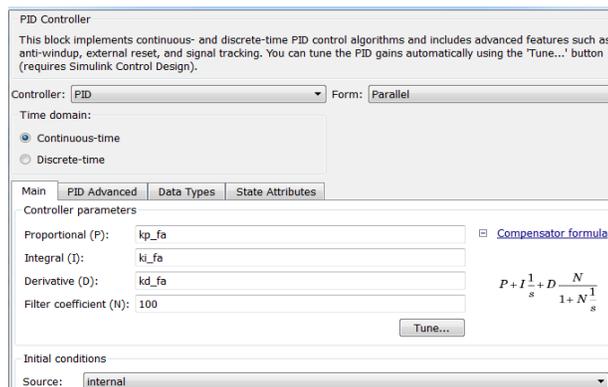
menggunakan program software kecerdasan buatan yang dibuat di *m-file* pada *Matlab*. Program tuning PID menggunakan MFA sebagaimana terlampir.

Data parameter-parameter FA yang digunakan ditunjukkan pada table 2 . berikut.

Table 2. Parameter FA

Parameter	Nilai
<i>Alpha</i>	0.5
<i>Beta</i>	0.5
<i>Gamma</i>	0.5
<i>Dimensi</i>	3
<i>Jumlah Kunang-Kunang</i>	50
<i>Iterasi maksimum</i>	20

Dengan demikian apabila program *m- file* dipadukan dengan *simulink* dan di *running* maka nilai $K_p = 40,7362$, $K_i = 9,0579$ dan $K_d = 0,1270$ dan dimasukkan kedalam sistem. Seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Parameter Kontrol PID_FA

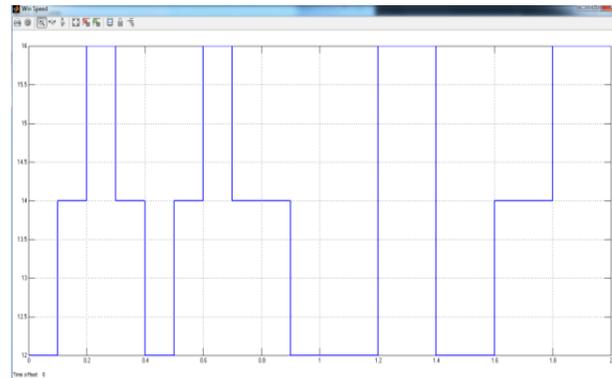
D. Parameter Tuning PID

Dari uraian diatas maka dapat ditentukan nilai parameter *tuning* PID

E. Hasil Running Tanpa Kontrol

1. Hasil Running Kecepatan Angin

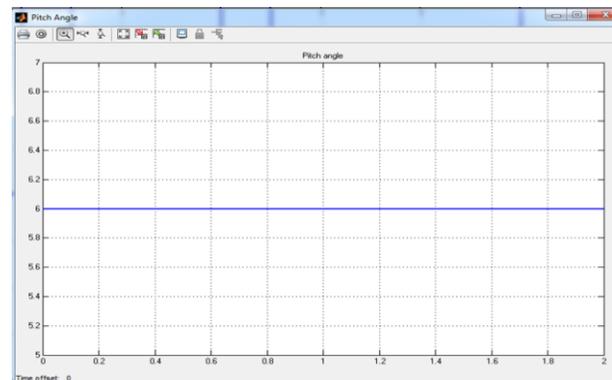
Dari hasil running didapatkan nilai kecepatan angin berbanding lurus waktu. Pada kecepatan angin ini semua dibuat sama baik yang tidak menggunakan kontrol maupun yang menggunakan kontrol. Pada gambar 6



Gambar 6. Kecepatan angin

2. Hasil Running Pitch Angle

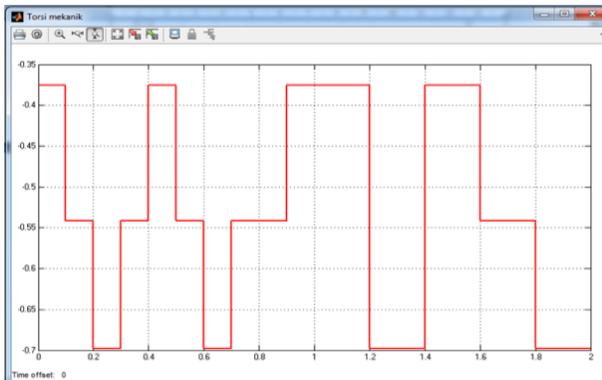
Gambar 7, dengan nilai sudut baling – baling yang tetap sebelum dikontrol.



Gambar 7. Pitch Angle

3. Hasil Running Torsi Mekanik Pada Win Turbin

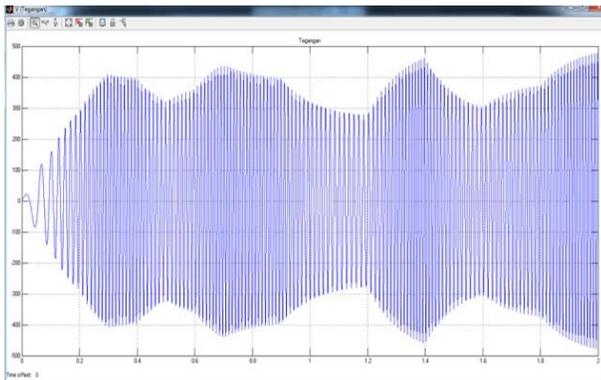
Gambar 8 menunjukkan besar nilai dengan nilai yang negatif dan tidak stabil mengikuti perubahan kecepatan angin dengan amplitudo (-0,7-(-0,35))



Gambar 8. Torsi Mekanik

4. Hasil Running Tegangan

5. Gambar 9 menunjukkan besar nilai tegangan. Pada nilai tegangan ini tidak stabil nilai yang paling tinggi ditunjukkan dengan amplitudo sebesar 477.8

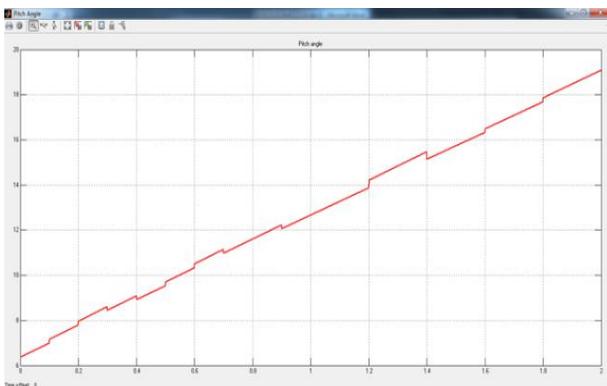


Gambar 9. Tegangan

F. Hasil Running dengan Kontrol PID_Standart

1. Hasil Running Pitch Angle

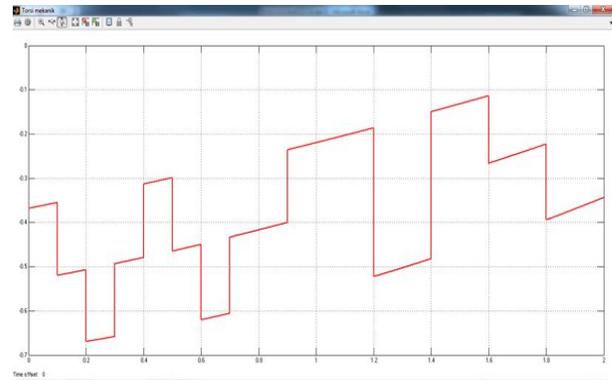
Pada saat menggunakan PID_Standart nilai sudut baling-baling berubah-ubah sesuai dengan kontrol yang di berikan. Amplitudonya sebesar 6.35-19.05



Gambar 10. Pitch Angle dengan kontrol PID_Standart

2. Hasil Running Torsi Mekanik Pada Win Turbin

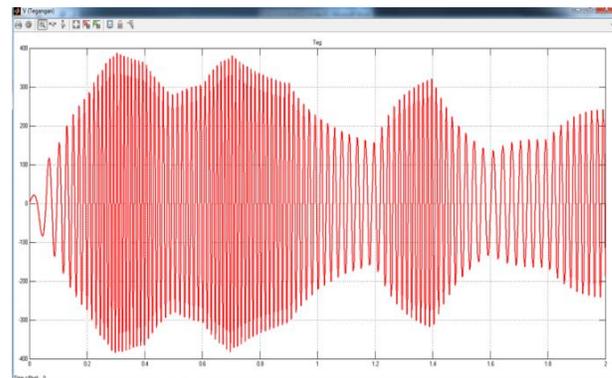
Gambar 11 menunjukkan besar nilai torsi mekanik pada win turbin setelah di kontrol dengan PID_Standart dengan amplitudo (-0,67-(-0.11))



Gambar 11. Torsi Mekanik dengan kontrol PID_Standart

3. Hasil Running Tegangan

Gambar 12 menunjukkan besar nilai tegangan. Pada nilai tegangan ini kurang stabil nilai yang paling tinggi ditunjukkan dengan amplitudo sebesar 388

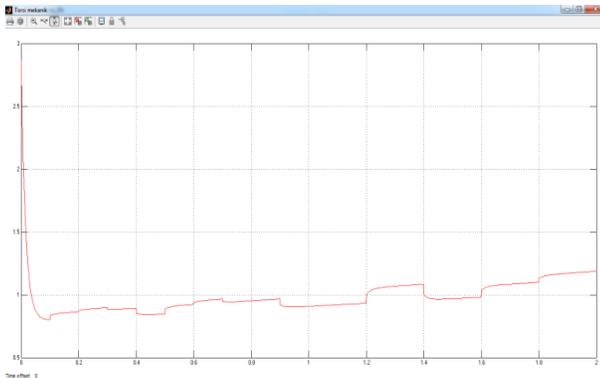


Gambar 12. Tegangan dengan kontrol PID_Standart

G. Hasil Running dengan Kontrol PID_Ziegler Nichols

1. Hasil Running Pitch Angle

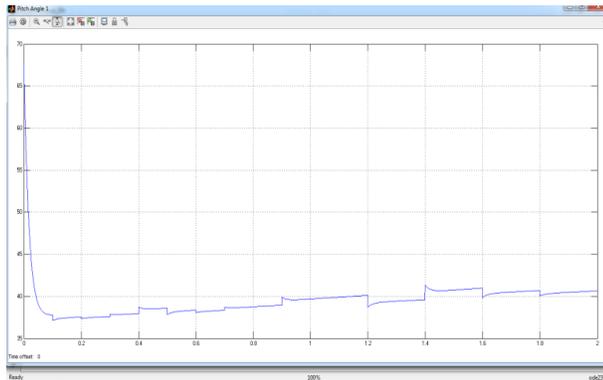
Pada saat menggunakan PID_Standart nilai sudut baling-baling berubah-ubah sesuai dengan kontrol yang di berikan. Amplitudonya sebesar 37,15 – 41,4



Gambar 13. Pitch Angle dengan kontrol PID_ZN

2. Hasil Running Torsi Mekanik Pada Win Turbin

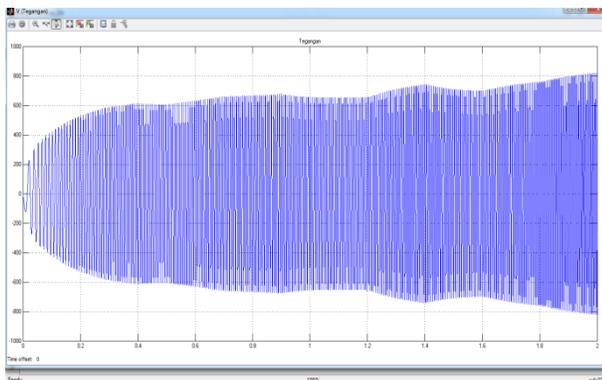
Gambar 14 menunjukkan besar nilai torsi mekanik pada win turbin setelah di kontrol dengan PID_ Ziegler Nichols dengan amplitudo 0,8 – 1,18



Gambar 14. Torsi Mekanik dengan kontrol PID_ZN

3. Hasil Running Tegangan

Gambar 15 menunjukkan besar nilai tegangan. Pada nilai tegangan ini kurang stabil nilai yang paling tinggi ditunjukkan dengan amplitudo sebesar 780

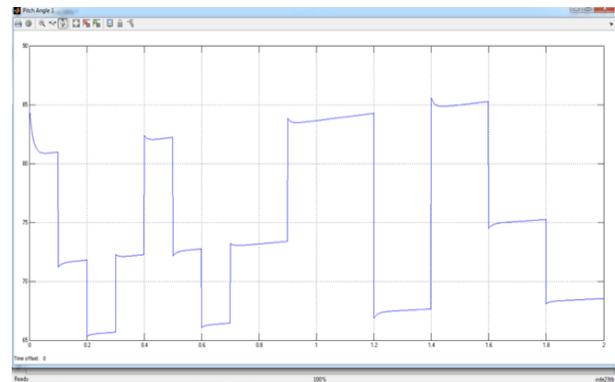


Gambar 15. Tegangan dengan kontrol PID_ZN

H. Hasil Running dengan Kontrol PID_MFA

1. Hasil Running Pitch Angle

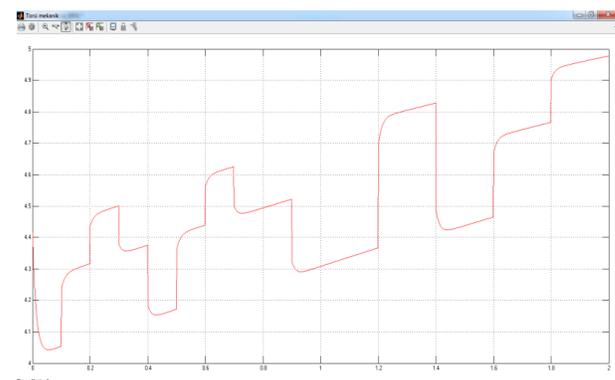
Pada desain PID_FA dimasukkan parameter-parameternya K_p sebesar 40,7362 K_i sebesar 9,0579 dan K_d sebesar 0,1270. Pada saat menggunakan PID_MFA nilai sudut baling – baling berubah –ubah sesuai dengan kontrol yang di berikan. Amplitudonya sebesar 65,4 – 85,6



Gambar 16. Pitch Angle dengan kontrol PID_MFA

2. Hasil Running Torsi Mekanik Pada Win Turbin

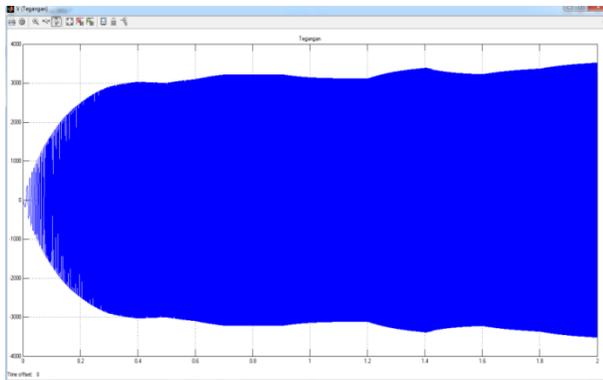
Gambar 4.25 menunjukkan besar nilai torsi mekanik pada win turbin setelah di kontrol dengan PID_MFA dengan amplitudo 4,045 – 4,98



Gambar 17. Torsi Mekanik dengan kontrol PID_MFA

3. Hasil Running Tegangan

Gambar 18 menunjukkan besar nilai tegangan. Pada nilai tegangan ini kurang stabil nilai yang paling tinggi ditunjukkan dengan amplitudo sebesar 3500



Gambar 18. Tegangan dengan kontrol PID_MFA

Dari hasil simulasi yang dilakukan maka didapatkan hasil :

Tabel 3. Hasil Simulasi

	Uncontrol	PID_Standar	PID_ZN	PID_MFA
Kp		1	7,2	407,362
Ki		1	0,6	90,579
Kd		0	0,144	0,1270
Pitch Angle	6	6,35 – 19,05	37,15 – 41,4	65,4 – 85,6
Torsi Mekanik	-0,7- (-0,35)	-0,67 – (-0,11)	0,8 – 1,18	4,045 – 4,98
Tegangan (V)	477,8	388	780	3,500

V. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba running program didapatkan :

1. Torsi Mekanik Uncontrol = -0,7- (-0,35), PID-Standar = -0,67 – (-0,11), PID-ZN= 0,8 – 1,18 dan PID-MFA = 4,045 – 4,98
2. Tegangan Uncontrol = 477,8, PID-Standar = 388, PID-ZN= 780 dan PID-MFA = 3500
3. Menggunakan kontrol PID_MFA lebih Optimal dan Stabil dibanding menggunakan uncontrol, PID_Standar dan PID_ZN.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soedibyo, “Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.” ITS Press Surabaya
- [2] Y. Daryanto, “Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu,” *Blueprint*, no. April, 2007.
- [3] H. Asy, A. Budiman, and W. Setiyawan, “Desain prototipe pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin horisontal dan generator magnet permanen tipe axial kecepatan rendah,” no. November, pp. 42–47,

- 2012.
- [4] U. N. Jakarta, J. Timur, and S. L. Obispo, “seminar nasional fisika 2012 keluaran turbin angin tipe horizontal berdiameter 1 , 6 meter sebagai sumber penyedia listrik pada proyek rumah dc di fmipa unj seminar nasional fisika 2012,” pp. 89–94, 2012.
- [5] A. Hwas and R. Katebi, “Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller,” *IFAC Conf. Adv. PID Control*, 2012.
- [6] P. J. Schubel and R. J. Crossley, “Wind turbine blade design,” *Energies*, vol. 5, no. 9, pp. 3425–3449, 2012.
- [7] D. Notosudjono, “Perancangan Pembangkit Listrik Menggunakan Generator Magnet Permanen Dengan Motor Dc,” pp. 1–10.
- [8] T. Dengan, S. Variable, I. Dan, S. Output, P. Pieter, and D. Wiria, “Sistem Pengendalian Pid Yang Diaplikasikan Pada Pengendalian.”
- [9] M. Ali, “Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol Pid Dengan Software Matlab,” *J. Edukasi@Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2004.
- [10] M. Ali, H. Nurohmah, “Perbandingan Kecerdasan Buatan Dalam Steer Kendaraan” AA. Rizky. Banten. 2020.