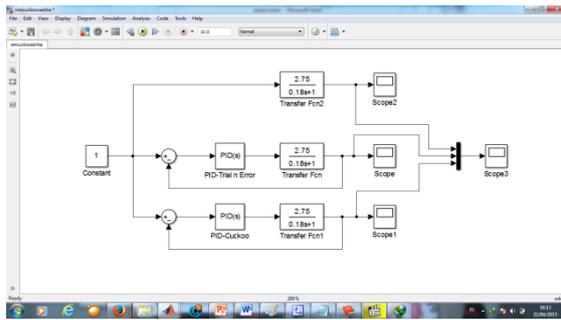


LAMPIRAN



```

Command Window
In cuckoo_search_new at 79
Total number of iterations=2500

fmin =

    19.3811

bestnest =

    34.6724    25.3488    0.0081

kp_cu =

    34.6724

ki_cu =

    25.3488

kd_cu =

    0.0081

ans =

    34.6724    25.3488    0.0081
    
```

DESAIN PITCH ANGLE CONTROLLER TURBIN ANGIN DENGAN PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS GENERATOR (PMSG) MENGGUNAKAN IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM (ICA)

Machrus Ali¹, Soedibyo², Imam Robandi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
machrus7@gmail.com, diby_55@yahoo.com, robandi@ee.its.ac.id

Abstrak

Tulisan ini membandingkan dua macam metode tuning parameter *Proporsional Integrator Diferensial* (PID) kontroler untuk mengatur kecepatan turbin angin dengan *pitch angle control*. Yang pertama adalah desain kontroler dengan metode Ziegler-Nichols, kedua adalah desain kontroler dengan metode *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA). PID controller merupakan sebuah alat untuk mengontrol sebuah sistem, PID controller ini digunakan untuk mengontrol *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Pitch variable-speed wind turbine telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Ada dua strategi control untuk mengontrol variable kecepatan pada wind turbine. 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, yang memberikan koefisien daya 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 control adalah salah satu cara untuk menyesuaikan torsi aerodinamik pada turbin angin saat kecepatan angin berada diatas nilai kecepatan dan beberapa variable control lainnya, seperti kecepatan angin, kecepatan generator, dan daya generator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan PID controller yang dituning dengan ICA lebih stabil dan daya output lebih optimal. Metode yang diusulkan dapat diterapkan pada sistem yang lebih tinggi.

Keyword – turbin angin, *pitch angle control*, PID, ICA

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk maka kebutuhan akan energi 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. 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* dan lain-lain. Oleh karena itu, PMSG perlu dikontrol untuk menghasilkan daya listrik yang optimal. Dalam mengontrol PMSG terdapat beberapa controller yaitu PI controller pada *pitch angle*, PI controller pada *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Tujuan dari kontrol dapat diringkas dalam tiga tujuan sebagai berikut:

1. Mengoptimalkan output daya ketika kecepatan angin kurang dari kecepatan angin.
2. Menjaga daya rotor di batas desain saat kecepatan angin di atas kecepatan angin.
3. Minimalkan beban mekanik turbin.

Pada *paper* ini akan dibahas tentang PID controller untuk mengontrol *pitch angle*. PID controller akan mengontrol pitch angle untuk dapat menghasilkan daya output PMSG optimal. Paper ini terdiri dari Pendahuluan, *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG), Model *Wind Turbine*, PID Controller, Pembahasan dan analisa dan kesimpulan.

II. MODEL WIND TURBINE

A. Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) merupakan generator sinkron yang mempunyai magnet permanen. PMSG dapat dimodelkan dengan persamaan transformasi park. Persamaan didasarkan pada arus stator dan tegangan seperti persamaan 1,2.

$$v_{sd} = R_s i_d + \frac{d\lambda_d}{dt} - \omega_s \lambda_q \quad (1)$$

$$v_{sq} = R_s i_q + \frac{d\lambda_q}{dt} - \omega_s \lambda_d \quad (2)$$

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 3,4.

$$\lambda_d = L_{sd} i_d + \lambda_m \tag{3}$$

$$\lambda_q = L_{sq} i_q \tag{4}$$

Dimana

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

Torsi elektrik dari PMSG dapat dituliskan seperti persamaan 5.

$$T_e = \frac{3}{2} p [\lambda_m i_q - (L_{sq} - L_{sd}) i_q i_d] \tag{5}$$

Dimana p adalah jumlah pasang kutub PMSG.

B. Wind Turbine

1) Aerodinamis Wind Turbine

Wind turbine dapat merubah energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator listrik. Angin yang melewati turbin akan kehilangan energi yang sama dengan energi yang diekstraksikan oleh turbin. Persamaan 6 merupakan persamaan dari energi kinetik.

$$U = \frac{1}{2} (\rho A x) V^2 \tag{6}$$

Dimana :

- U = energi kinetik (joule)
- ρ = intensitas udara (kg/m^3)
- A = luas penampang (m^2)
- x = ketebalan penampang (m)
- V = kecepatan angin (m/s)

Kekuatan angin (P_w) adalah turunan dari energi kinetik

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \tag{7}$$

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

$$P_r = P_w C_p = \frac{1}{2} C_p (\beta, \lambda) \rho \pi R^2 V^3 \tag{8}$$

$$T_r = \frac{1}{2} C_T (\beta, \lambda) \rho \pi R^3 V^2 \tag{9}$$

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%).

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \tag{10}$$

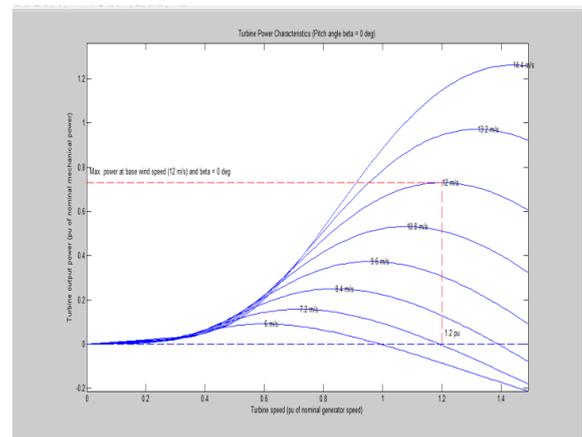
Dimana :

- λ = ratio kecepatan

- ωR = ratio antara kecepatan bujur sangkar dari ujung turbin
- V = kecepatan angin
- $C_p (\lambda, \beta) = \lambda C_T (\lambda, \beta)$ (11)

Koefisien C_T merupakan fungsi yang sangat nonlinear dari rasio kecepatan tip, dan *blade pitch angle* β .

Wilayah 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.

2) 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:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A C_{p,max} V^3 \tag{12}$$

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 angel* (β).
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.

III. TUNING PID CONTROLLER

A. Ziegler-Nichols

Dalam *PID controller* terdapat parameter-parameter yang harus ditentukan. Parameter-parameter tersebut adalah K_p , τ_i , τ_d . Dimana K_p merupakan komponen dari kontroler *Proportional*, τ_i rupakan komponen dari kontroler integrator dan τ_d merupakan komponen dari kontroler diferensial.

Penalaan parameter kontroler PID (*Proportional Integral Diferensial*) selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang diatur (*plant*). Metode didasarkan pada reaksi *plant* yang dikenai suatu perubahan. Dalam hal ini digunakan metode pendekatan eksperimen adalah *Ziegler-Nichols*.

$$K_p = \frac{\tau}{\tau \cdot k} \tag{13}$$

$$\tau_i = \tau \tag{14}$$

$$\text{Gain} = \frac{1}{\tau_i} \tag{15}$$

Pada sistem terdapat beberapa orde yaitu sistem orde1, orde2 dan orde lebih dari2. Pada sistem tersebut terdapat parameter-parameter di setiap ordenya. Untuk orde 1 terdapat parameter seperti persamaan 7. Untuk parameter orde 2 atau lebih terdapat parameter seperti persamaan 8.

Parameter: K, τ ; $\frac{K}{\tau s + 1}$ (16)

Parameter: K, ζ, ω_n ; $\frac{K}{\omega_n^2 s^2 + 2\zeta \omega_n s + 1}$ (17)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing kontroler P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara paralel menjadi kontroler proposional integral diferensial (*PIDcontroller*). Elemen-elemenkontroler P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Gambar. 2 merupakan Blok diagram *PID controller*. Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk mendesain *PIDcontroller* :

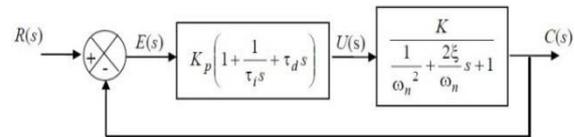
1. Menentukan fungsi alih dari *plant*

2. Menentukan spesifikasi performasi respon orde yang diinginkan
3. Menentukan K_p, τ_i, τ_d

$$\tau_i = \frac{2\xi}{\omega_n} \tag{18}$$

$$\tau_d = \frac{1}{2\xi\omega_n} \tag{19}$$

$$K_p = \frac{2\xi}{\tau \cdot \omega_n \cdot K} \tag{20}$$



Gambar 2. Blok diagram *PID controller*

B. ICA

Imperialist Competitive Algorithm (ICA) merupakan algoritma evolusioner yang terinspirasi dengan kompetisi kekuasaan (*imperialist competitive*). Algoritma optimasi ICA dikenalkan oleh Esmaeil Atashpaz pada tahun 2007. ICA mensimulasikan proses social politik dari imperialis medan kompetisi kekuasaan. Pada Metode ICA ini, seperti algoritma evolusioner lainnya yaitu dengan dimulai dengan inialisasi populasi awal. Setiap individu dari populasi disebut dengan negara (*country*). Beberapa Negara terbaik dipilih sebagai Negara penjajah dan sisanya membentuk koloni yang digunakan oleh penjajah. Negara imperialis bersama-sama dengan koloni yang dimilikinya membentuk beberapa empire (*kerajaan*). Setelah membentuk empire awal, koloni pada setiap empire bergerak menuju Negara imperialis yang relevan. Total kekuatan dari sebuah empire tergantung pada kekuatan dari Negara imperialis dan kekuatan dari koloninya. Fakta ini dimodelkan dengan mendefinisikan total kekuatan dari sebuah empire merupakan kekuatan dari Negara imperialis ditambah dengan presentase dari rata-rata kekuatan koloninya.

Algoritma ini diperkenalkan oleh Esmaeil Atashpaz pada tahun 2007. Populasi *country* yang digunakan pada ICA adalah 80, dengan memilih 8 *country* terbaik sebagai imperialis sehingga jumlah koloni-nya adalah 72. Data parameter ICA yang digunakan ditunjukkan padaTabel 1.

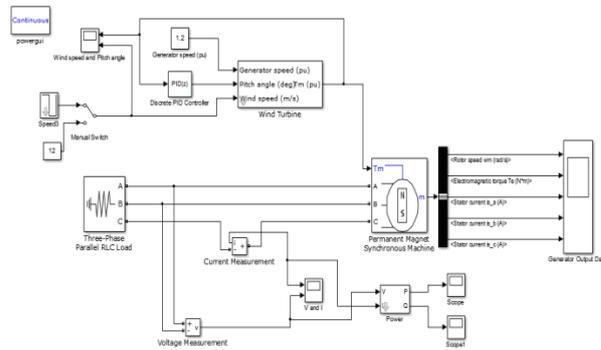
Tabel 1. Parameter ICA

Jumlahnegara	80
Jumlahimperialisawal	8
Jumlahkoloni	72
Dekade	30
KecepatanRevolusi	0.3
Asimilasi (β)	2

SudutAsimilasi (γ)	0.5
Zetta (ξ)	0.02

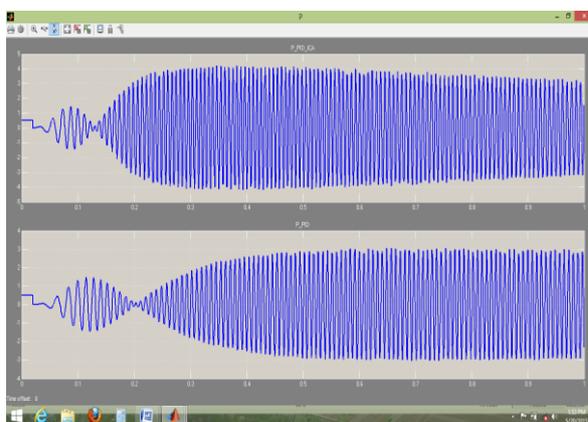
IV. PEMBAHASAN DAN ANALISA

Sistem pada *wind turbine*, mempunyai *input generator speed, pitch angle, wind speed*. *Generato rspeed* diberi *input 1.2 pu*, *wind speed* diberi *input 12m/s* dan *pitch angel* ini yang akan dikontrol oleh *PID controller*. Terlihat pada gambar.3.



Gambar 3. Sistem PMSG

Hasil simulasi dari *wind turbine* oleh *PID-ICA* (atas) dan *PID controller* metode *Ziegler-Nichols* (bawah) dapat dilihat pada gambar 4. Nilai perioda dasar pada *PID*, $T_u = 3$, dan penguatan dasar $K_u = 14.4$, digunakan untuk menentukan konstanta-konstanta $K_p = 3K_u/5 = 8.64$, $K_i = T_u / 2 = 1.5$ dan $K_d = 3T_u / 25 = 0.36$. Sedangkan hasil simulasi dari *wind turbine* dengan dikontrol oleh *PID controller* di tuning menggunakan *ICA* didapatkan $k_p = 32,5889$, $k_i = 9,0579$, $k_d = 0,1270$. Pada gambar terlihat bahwa daya setelah diberi kontrol *PID controller* yang detuning dengan *ICA* akan naik lagi. Sehingga apabila *pitch angle* ini kurang optimal maka *PID controller* ini akan memperbaikinya agar *pitch angle* menjadi optimal.



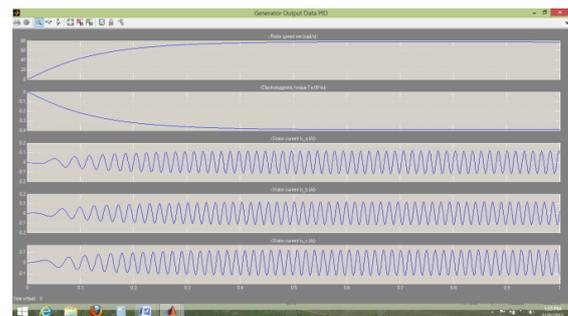
Gambar 4. Hasil simulasi Daya P pada *PID-ICA* dan *PID*

Hasil Output Generator dari *wind turbine* yang dikontrol oleh *PID-ICA* dan *PID Ziegler-Nichols*,

ditunjukkan pada gambar 5 dan 6. Pada gambar terlihat bahwa daya output generator pada kontrol *PID-ICA* jika dibandingkan dengan kontrol *PID Ziegler-Nichols* adalah lebih besar dan lebih stabil.



Gambar 8. Generator Output Data *PID-ICA*



Gambar 9. Generator Output Data *PID*

V. KESIMPULAN

PID controller dengan tuning *ICA* dapat diusulkan untuk mengontrol *pitch angle*. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa sistem yang ditunjukkan oleh control *PID* konvensional *Ziegler-Nichols* kurang optimal, sedangkan dengan penambahan *PID controller* yang dituning dengan *ICA* pada sistem didapatkan daya *output* yang optimal dan lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul hamed Hwas, Reza Katebi, 2012, *Wind Turbine Control Using PI Pitch Angle Controller*. IFAC Conference on Advances in PID Control, Brescia (Italy).

Esmail Atashpaz - Gargari and Caro Lucas, 2007, *Imperialist Competitive Algorithm An Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition*, IEEE Congress on Evolutionary Computation (CES)

Shuhui Li, Timothy A. Haskew, Richard P. Swatloski, William Gathings, 2012, *Optimal and Direct-Current Vector Control of Direct-Driven PMSG Wind Turbines*, IEEE Transactions On Power Electronics

Yousif El-Tous, 2008, *Pitch Angle Control of Variable Speed Wind Turbine*, American J. of Engineering and Applied Sciences