

DESAIN FREKUENSI KONTROL PADA HYBRID WIND-DIESEL DENGAN PID - PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Erwin Dermawan^{1*}, Aditya Firmanto², Sitti Nurbaya Ambo³,
Ery Diniardi⁴, Anwar Ilmar Ramadhan⁵

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

³Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

^{4,5}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah No.27 Jakarta 10510

*E-mail: erwindermawan@yahoo.com

ABSTRAK

Kontroler PID merupakan alat pengontrol yang paling efektif dalam penerapan teknologi. Namun, dalam penerapan tersebut sering menjadikan kendala, karena dilakukan secara manual dan memerlukan waktu yang lama. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk membahas kinerja optimasi sistem hybrid pada sistem energi pembangkit listrik diesel dengan tenaga angin dan membandingkan respon sistem antara metode PID – PSO dengan metode PID – *Firefly*, khususnya pada *overshoot*. Metode penelitian yang digunakan dengan *optimal tuning* berbasis algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) menggunakan *Matlab Code*, untuk sistem waktu tunda tertentu. Desain kontrol PID untuk sistem dengan waktu tunda tidaklah mudah. PID berbasis PSO mempunyai kelebihan dalam implementasinya stabil. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu sistem kontrol PID berbasis PSO ini memiliki kinerja respon sistem yang baik dibandingkan metode PID – *Firefly*.

Kata kunci : PID, PSO, Matlab, PID-Firefly

ABSTRACT

PID controller is the most effective means of controlling the application of technology. However, in these implementations often make, because it is done manually and requires a long time. The purpose of this study is to discuss the performance optimization of hybrid systems in diesel power plant energy systems with wind power, and comparing the response of the system using with PID method - PSO and PID method - Firefly, particularly in overshoot. Research Method used with optimal tuning algorithm-based Particle Swarm Optimization (PSO) using Matlab Code, for a certain delay time system. PID control design for systems with delay time is not easy. PID-based PSO has advantages in stable implementation. The results obtained are based PSO PID control system has better performance than the system response method PID- Firefly

Keywords: PID, PSO, Matlab, PID-Firefly

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber energi baru terbarukan sebagai sumber energi listrik, sudah semakin banyak digunakan. Tenaga angin sudah banyak

digunakan sebagai sumber penggerak generator untuk menghasilkan energi listrik. Namun, pemanfaatan energi angin sangat bergantung pada kondisi angin di suatu daerah,

sehingga untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik ini dibutuhkan pembangkit lain agar lebih optimal, dengan menggunakan diesel. Hibrid Wind-Diesel akan mampu melayani konsumen dengan optimal, karena kinerjanya yang lebih optimal dibanding dengan Wind Stand Alone. Sistem hibrid adalah suatu jaringan yang terkontrol dari beberapa sumber energi terbarukan seperti turbin angin, photovoltaic, mikrohidro, dan sebagainya. Akan tetapi dalam prakteknya karena adanya perbedaan pengaturan fluktuasi frekwensi maka hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas suplai tenaga yang ada pada sistem hibrid.

Pada penelitian sebelumnya studi kestabilan operasi sistem hibrid membahas teknik pengaturan frekwensi serta mendiskusikan teknik gabungan sistem fuel cell dan elektrolisa hibrid untuk meningkatkan kemampuan sistem mikrogrid dalam peningkatan kualitas daya dari permasalahan fluktuasi frekwensi. Pengaturan yang diajukan dan sistem pemantauan (monitoring) yang dilakukan adalah untuk menjaga kualitas daya, juga untuk menjaga kestabilan fluktuasi frekwensi yang disebabkan adanya daya random pada pembangkitan serta pada sisi beban juga untuk menjaga kestabilan fluktuasi aliran daya pada tie line aliran daya yang diakibatkan fluktuasi frekwensi dari interkoneksi sistem hibrid.

Beberapa penelitian telah membahas pengaturan frekuensi pada Wind-Diesel, diantaranya, T.S. Bhatti,(1995), S.C.Tripathy.(1995), T.S. Bhatti,(1997), Tomas,P.(2003), Robandi,I.(2006), Abidin,Z.(2010), Mohit Singh.(2011), Tan Wen,(2011), Hou,J.(2012). Dari beberapa permasalahan pengaturan frekwensi yang menyebabkan fluktuasi aliran daya pada berbagai jenis pembangkitan sistem hibrid yang terkoneksi, maka peneliti mengambil tema Pengaturan Frekwensi Pada Sistem Daya Hibrid menggunakan metode cerdas Particle Swarm Optimization (PSO) dan algoritma firefly .

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Hibrid

Sistem daya hibrid diesel-turbin angin stand alone mungkin secara ekonomis dapat diterapkan dalam beberapa kasus penyediaan energi listrik pada daerah terpencil misalnya

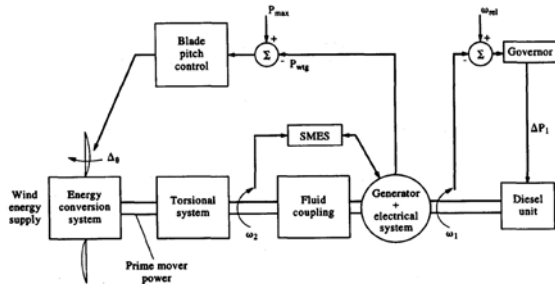
wilayah pegunungan atau kepulauan dimana tingkat kecepatan angin cukup signifikan untuk menggerakkan generator dalam memproduksi listrik tetapi untuk penyediaan energi pada sistem jaringan terkoneksi tidak ekonomis. Abidin,Z.(2010). Diharapkan hasil pembangkitan energi listrik dari sistem hibrid Turbin Angin-Diesel dapat menyediakan pelayanan yang baik bagi pelayanan beban ke konsumen, namun semua itu tergantung pada tipe dan karakteristik kontrol pembangkitan. Hal ini berarti variasi sistem frekuensi harus dapat dijaga kestabilannya agar peralatan dapat beroperasi dengan baik dan efisien. Strategi yang berbeda dapat diterapkan dengan cara mereduksi perbedaan pembangkitan dan beban serta mengatur deviasi frekwensi sistem. Adapun strategi-strategi yang dapat dilakukan dengan cara pengaturan kontrol beban tiruan, prioritas switching kontrol beban, penggunaan flywheel, super konduktor magnetik dan sistem penyimpanan energi baterai. Untuk dapat menampilkan analisis detail studi tentang sistem hibrid turbin angin diesel dan mikrohidro dengan model sinyal transfer kecil. Pemilihan yang optimal dari gain kontrol disarankan menggunakan teknik ISE untuk kasus kontrol kontinu dan kontrol diskrit. Permasalahan yang terjadi pada pembangkitan adalah terjadinya frekuensi osilasi yang rendah. Hal ini muncul karena :

- ✓ Tingginya setting gain dan rendahnya waktu konstan pada Automatic Voltage Regulator (AVR).
- ✓ Terlalu banyak jaringan transmisi yang panjang sehingga kemampuan lemah (weak line).

Untuk mengatasi permasalahan tingginya gain pada AVR, sebelumnya kita membahas singkat fungsi transfer dari AVR agar lebih mudah memahami pengaruh gain dan waktu konstan AVR. Pada dasarnya gain yang tinggi pada AVR memiliki maksud :

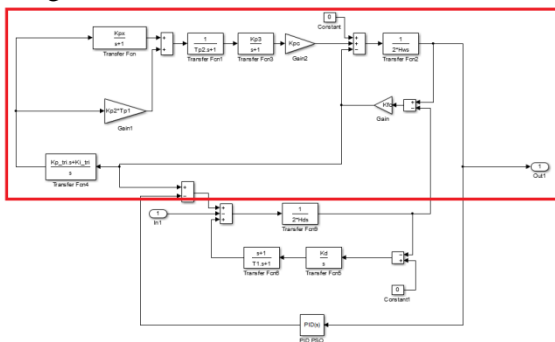
- ✓ Semakin tinggi gain, tegangan terminal generator akan terkontrol dengan baik, karena tujuan AVR memang membuat tegangan terminal stabil.
- ✓ Semakin tinggi gain pada AVR, ternyata juga menimbulkan efek samping yaitu semakin lemahnya kemampuan redam (negatif damping) dari generator sehingga berpotensi timbulnya osilasi frekuensi rendah.

- ✓ Dari kedua alasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pengaturan gain pada AVR adalah sesuatu yang sangat penting, karena kalau terlalu rendah akan menimbulkan ketidakstabilan monotonik dan jika terlalu tinggi akan menimbulkan osilasi frekuensi rendah.

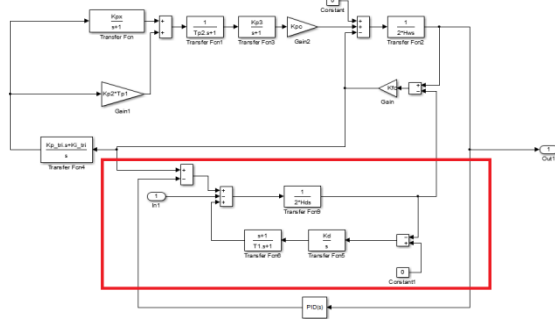


Gambar 1. Model Konsep Diesel dan Turbin Angin

Model dalam studi kasus ini terdiri dari sub sistem : model dinamik turbin angin, model dinamik diesel, kontrol kecepatan sudu turbin angin dan model dinamik generator. Blok diagram fungsi transfer Turbin Angin-Diesel sebagai berikut.



Gambar 2. Pemodelan Pembangkit Listrik Turbin Angin



Gambar 3. Pemodelan Pembangkit Listrik Diesel

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Particle swarm optimization, disingkat sebagai PSO, didasarkan pada perilaku sebuah kawanan serangga, seperti semut, rayap, lebah atau burung. Algoritma PSO meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Metode optimasi yang didasarkan pada swarm intelligence ini disebut algoritma behaviorally inspired sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut evolution-based procedures. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multi dimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang/space tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut. Sebagai contoh, misalnya perilaku burung-burung dalam dalam kawanan burung. Meskipun setiap burung mempunyai keterbatasan dalam hal kecerdasan, biasanya ia akan mengikuti kebiasaan (rule) seperti berikut :

- ✓ Seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan burung yang lain
- ✓ Burung tersebut akan mengarahkan terbangnya ke arah rata-rata keseluruhan burung
- ✓ Akan memposisikan diri dengan rata-rata posisi burung yang lain dengan menjaga sehingga jarak antar burung dalam kawanan itu tidak terlalu jauh

Dengan demikian perilaku kawanan burung akan didasarkan pada kombinasi dari 3 faktor simpel berikut, Kohesi - terbang bersama, separasi - jangan terlalu dekat, dan penyesuaian (alignment) mengikuti arah bersama. Jadi PSO dikembangkan dengan berdasarkan pada model berikut:

- ✓ Ketika seekor burung mendekati target atau makanan (atau bisa minimum atau maximum suatu fungsi tujuan) secara cepat mengirim informasi kepada burung-burung yang lain dalam kawanan tertentu.
- ✓ Burung yang lain akan mengikuti arah menuju ke makanan tetapi tidak secara langsung
- ✓ Ada komponen yang tergantung pada pikiran setiap burung, yaitu memorinya tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Model ini akan disimulasikan dalam ruang dengan dimensi tertentu dengan sejumlah iterasi sehingga di setiap iterasi, posisi partikel akan semakin mengarah ke target yang dituju (minimasi atau maksimasi fungsi). Ini dilakukan hingga maksimum iterasi dicapai atau bisa juga digunakan kriteria penghentian yang lain.

Implementasi Particle Swarm Optimization Untuk Tuning Pi

Berikut ini adalah step-step dalam Particle Swarm Optimization (PSO) untuk tuning PID:

1. Menentukan parameter awal dari PSO seperti $c = 0.2$ dan $w = 0.05$
2. Menentukan nilai K_p dan K_i dengan menggunakan metode Ziegler Nichols
3. Menentukan banyaknya swarm ($n=5$)
4. Menentukan posisi awal dari tiap swarm (sumbu $x=K_p$, sumbu $y=K_i$)
5. Mencoba nilai posisi (K_p dan K_i) tiap-tiap swarm yang telah dipilih dan lihat responnya
6. Ambil hasil nilai Overshoot, Rise Time, dan Settling Time dari masing-masing swarm yang telah dipilih
7. Tentukan objective function dari tiap-tiap swarm, di mana nilai yang paling kecil merupakan swarm yang paling optimal. Di mana Pbest adalah nilai paling optimal di swarm itu sendiri. Dan Gbest adalah nilai paling optimal dari keseluruhan swarm.

8. Cekapakah solusi yang sekarang sudah konvergen. Jika posisi Overshoot, Rise Time, dan Settling Time semakin kecil, maka hal tersebut hampir konvergen. Jika belum maka diulang dengan memperbarui iterasi $i = i + 1$, dengan cara menghitung nilai baru dari Pbest dan Gbest.

FIREFLY ALGORITMA

Perilaku *Firefly* (Kunang-Kunang)

Perilaku Algorithm *Firefly* (kunang-kunang) adalah sebuah algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku berkedip *firefly*. Cahaya yang dihasilkan merupakan proses bioluminescence. Terdapat dua fungsi fundamental dari cahaya tersebut, yaitu untuk menarik perhatian *firefly* yang lain (komunikasi) dan untuk bertahan dari serangan predator. Dr Xin-She Yang, mengembangkan Algoritma *Firefly* berdasarkan kebiasaan *firefly* untuk berkomunikasi. Dalam merumuskan Algoritma *Firefly*, Dr Xin - She Yang mengasumsikan beberapa aturan :

1. Semua *firefly* itu berjenis kelamin satu sehingga *firefly* akan tertarik pada *firefly* lain terlepas dari jenis kelamin mereka.
2. Daya tarik sebanding dengan tingkat kecerahan *firefly*, maka *firefly* dengan tingkat kecerahan lebih rendah akan tertarik dan bergerak ke *firefly* dengan tingkat kecerahan lebih tinggi, kecerahan dapat berkurang seiring dengan bertambahnya jarak.
3. Jika tidak ada *firefly* yang lebih terang dari *firefly* yang diberikan, maka *firefly* ini akan bergerak secara random.

Intensitas Cahaya dan Daya Tarik

Intensitas cahaya *firefly* $I(r)$ bervariasi menurut hukum kuadrat terbal

$$I(r) = \frac{I_0}{r^2} \quad (1)$$

Dimana I_0 adalah intensitas cahaya pada sumber. Untuk media yang diberikan dengan koefisien penyerapan cahaya yang tetap γ , intensitas cahaya I bervariasi dengan jarak r . Maka :

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (2)$$

Dimana I_0 adalah intensitas cahaya orisinal *firefly*. Agar mencegah bentuk tunggal pada $r = 0$ pada ekspresi $\frac{I_0}{r^2}$, efek gabungan dari kedua kebalikan hukum kuadrat terbalik dan

penyerapan dapat diperkirakan sebagai bentuk hukum Gaussian.

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r} \tag{3}$$

Untuk daya tarik *firefly* yang sebanding dengan intensitas cahaya yang dilihat oleh *firefly* yang berdekatan, kita dapat menentukan daya tarik β dari seekor *firefly* sesuai jarak r dengan :

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m} \tag{4}$$

Dimana β_0 adalah daya tarik pada jarak $r = 0$. Sebaliknya, untuk skala yang panjang Γ pada masa optimisasi, parameter γ dapat digunakan sebagai jenis nilai awal. Maka :

$$\gamma = \frac{1}{\Gamma^m} \tag{5}$$

Selanjutnya jarak antara setiap dua *firefly* i dan j pada x_i dan x_j berturut – turut pada bidang Cartesian

$$r_{ij} |x_i - x_j| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \tag{6}$$

Pergerakan dari seekor *firefly* i menarik *firefly* yang lain (terang) yang ditentukan oleh:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^m} (x_i + x_j) + \alpha \epsilon_i \tag{7}$$

Keterangan :

- x_i : Koordinasi spasial *firefly* ke- i
- x_j : Koordinasi spasial *firefly* ke- j
- α : Parameter pengacakan
- ϵ_i : Nilai vektor dari nilai acak antara [0-1]

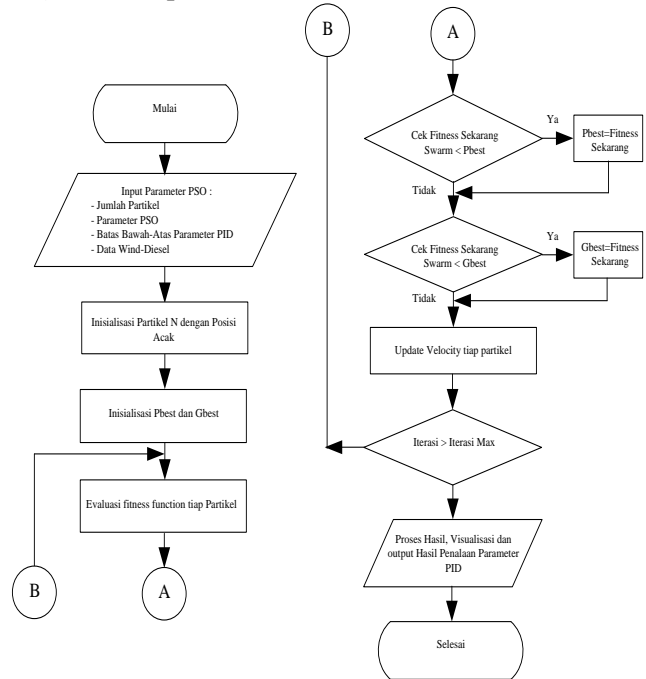
Penalaan PID dengan algoritma Penalaan PID dengan algoritma PSO

Gambar 4 menunjukkan diagram alir algoritma metode *PSO* yang digunakan pada penelitian ini untuk menala parameter PID. Fungsi objektif yang digunakan adalah dengan *Integral Time Absolut Error (ITAE)*.

$$ITAE = \int_0^t |\Delta\omega(t)| dt \tag{8}$$

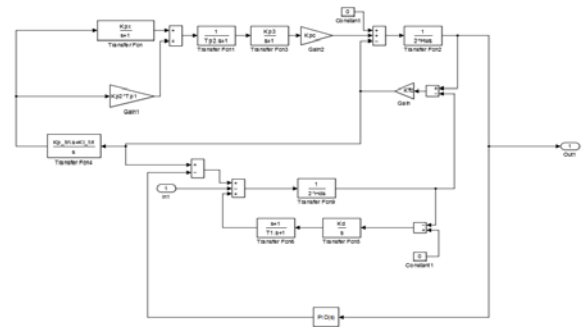
Parameter PID yang ditala oleh *PSO* adalah K_p , K_i dan K_d . Adapun untuk diagram alir proses penalaan parameter PID dengan

menggunakan metode *PSO* ditunjukkan oleh *flowchart* pada Gambar berikut.

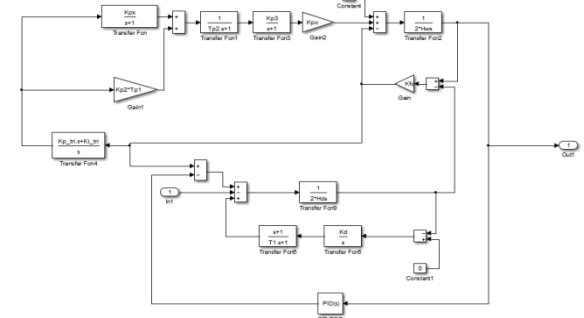


Gambar 4. Diagram alir penelitian menggunakan *PSO*

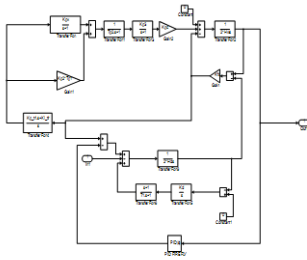
Berikut pemodelan untuk masing-masing model kontrol pada Simulink Matlab 2013, untuk Wind-Diesel dengan *PID-Firefly*, dengan *PID-Trial*, dan dengan *PID-PSO*.



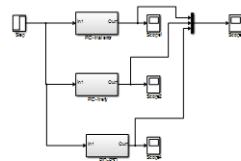
Gambar 5. Pemodelan Simulink *PI-Trial Error*



Gambar 6. Pemodelan Simulink *PID-PSO*



Gambar 7. Pemodelan Simulink PID-FIREFLY



Gambar 8. Pemodelan Simulink Semua Model

Adapun data parameter-parameter PSO berikut.

Tabel 1. Parameter PSO

Parameter	Nilai
Jumlah Partikel	30
Max Iterasi	50
Jumlah Variabel	3
C2 (Social Constant)	2
C1 (Cognitive Constant)	2
W (Momentum Inersia)	0.9

Berikut hasil optimasi dengan metode PSO.

Tabel 2. Hasil Optimasi PID dengan PSO

ans =
2.7336e-05
fitness_terbaik_global =
3.5098e-05
Kp_pso =
89.0120
Ki_pso =
56.5314
Kd_pso =
14.8705

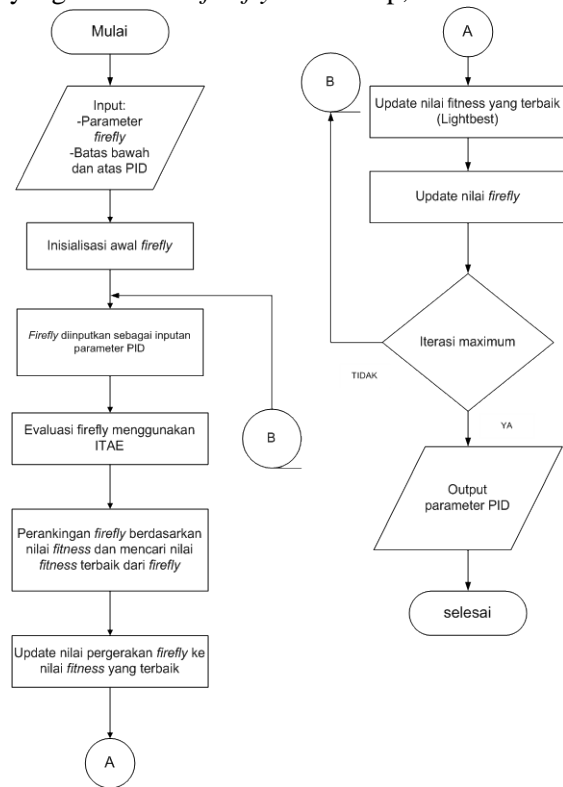
Hasil optimasi PSO didapatkan nilai *fitness function* sebesar 3.5098e-05, dengan 50 iterasi.

Tabel 3. Hasil Penalaan Parameter CES-PID

Parameter	Konstrains		Hasil CSA
	Bawah	Atas	
<i>Kp</i>	80	90	89.0120
<i>Ki</i>	50	60	56.5314
<i>Kd</i>	10	15	14.8705

Penalaan PID dengan algoritma *firefly*

Gambar 9 menunjukkan *flowchart* algoritma *firefly* yang digunakan pada penelitian ini untuk menala parameter PID. Parameter PID yang ditala oleh *firefly* adalah *Kp*, *Ki* dan *Kd*.



Gambar 9. Flowchart pencarian parameter gain terbaik menggunakan algoritma *firefly*

Hasil dari penalaan ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan respon yang baik. Dalam penelitian ini, fungsi objektif yang digunakan untuk menguji kestabilan sistem adalah *Integral Time Absolute Error (ITAE)*

$$ITAE = \int_0^t |\Delta\omega(t)| dt. \quad (9)$$

Firefly algoritma menala parameter PID. Parameter PID antara lain K_p , K_d dan K_i . Data masukan batas atas dan batas bawah parameter – parameter PID dapat dilihat pada **Tabel 4**. Tetapan parameter yang digunakan dalam metode optimisasi ini secara lengkap ditunjukkan

Tabel 4. Parameter PID

Parameter	Konstrain	
	Bawah	Atas
K_p	70	80
K_i	50	60
K_d	5	10

Tetapan parameter *firefly* algoritma yang digunakan secara lengkap ditunjukkan **Tabel 5**.

Tabel 5. Parameter Firefly

Parameter	Nilai
alpha	0.5
beta	0.5
gamma	0.5
iterasi	50

Hasil optimasi dengan *firefly* algoritma didapatkan nilai *Light best* 3.9937e-05, dengan 50 iterasi seperti pada **Tabel 6**.

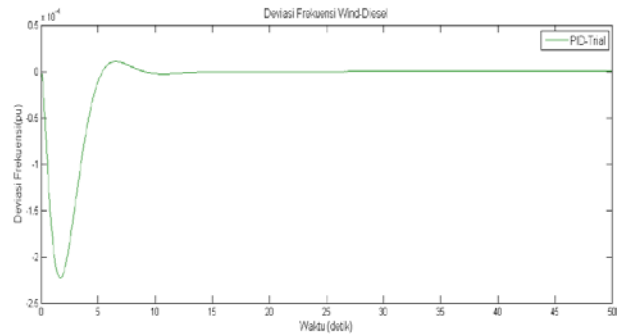
Tabel 6. Hasil Optimasi PID dengan firefly

Lightbest	K_p	K_i	K_d
3.9938e-05	79.9980	60	9.9002

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan *Controller* PID Trial-Error

Berikutnya simulasi dengan menggunakan kontrol PID-Trial Error, dari hasil simulasi didapatkan grafik berikut:



Gambar 10. Grafik respon frekuensi Wind-Diesel dengan *controller* PID-Trial Error

Dapat dilihat dari gambar di atas bahwa ketika terjadi perubahan beban atau gangguan (dalam hal ini perubahan beban), frekuensi sistem berosilasi terlebih dahulu sebelum mencapai kondisi tunaknya (*steady state*). Adapun nilai *overshoot* yang terjadi dan juga *settling time* nya detailnya dapat dilihat pada tabel berikut.

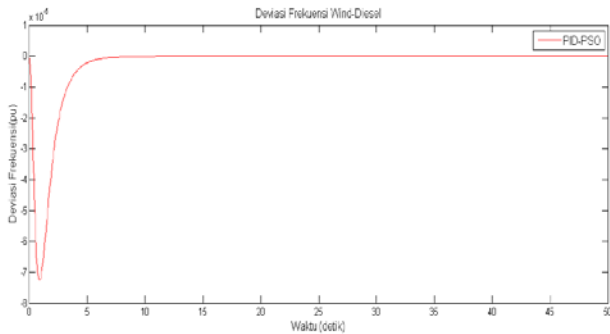
Tabel 7. Nilai overshoot dan settling time sistem dengan controller PID-Trial Error

Karakteristik	Nilai
<i>Overshoot</i> (pu)	-0.0002227 & 1.076e-05
<i>Settling time</i> (detik)	12.8

Dapat dilihat dari nilai yang tertera pada tabel di atas bahwa dengan pemasangan *controller* PID-Trial Error, frekuensi sistem berosilasi antara -0.0002227 hingga 1.076e-05. Ketika terjadi gangguan seperti perubahan beban, peredaman osilasi tersebut membutuhkan waktu 12.8 detik untuk mencapai kondisi tunaknya. Jika dibandingkan dengan respon frekuensi sistem yang tidak dilengkapi dengan *controller* PID, nilai *overshoot* nya menjadi lebih kecil, namun tidak direkomendasikan digunakan sebagai pengontrol.

Respon Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan *Controller* PID-PSO

Berikutnya simulasi dengan menggunakan kontroler PID-PSO, dari hasil simulasi didapatkan :



Gambar 11. Grafik respon frekuensi Wind-Diesel yang dilengkapi controller PID-PSO

Dapat dilihat dari gambar 11, hasil respon frekuensi untuk sistem Wind-Diesel dengan controller PID-PSO. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa nilai overshoot dan nilai settling time nya yaitu seperti pada tabel berikut.

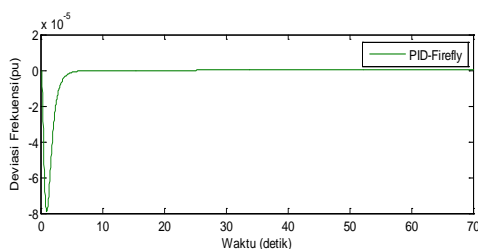
Tabel 8. Nilai overshoot dan settling time sistem dengan controller PID-PSO

Karakteristik	Nilai
Overshoot (pu)	-9.06e-05 & 7.009e-10
Settling time (detik)	5.8

Nilai overshoot yang pada sistem ini menjadi lebih kecil, yaitu sebesar -7.253e-05 hingga 7.009e-10 menunjukkan bahwa ketika sistem mengalami perubahan beban atau gangguan, maka frekuensi sistem berisolasi turun sebesar -7.253e-05, dan akan kembali pada nilai tunak nya setelah setelah >5.8 detik lebih. Dari hasil yang telah disimulasikan, berikut ini dapat dilihat perbandingan model yang telah disimulasikan.

Respon Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan Controller PID-Firefly

Gambar 12 adalah hasil simulasi dengan menggunakan kontrol PID-firefly .

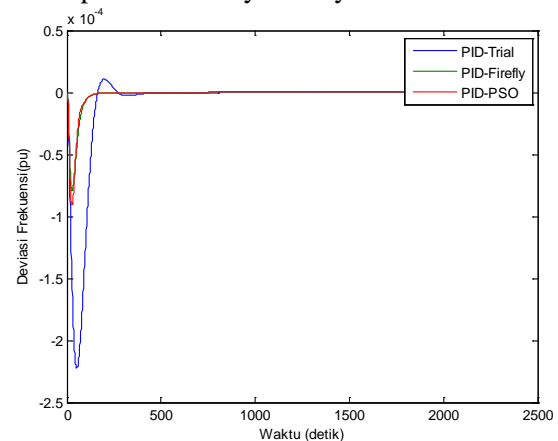


Gambar 12. Respon frekuensi controller PID-Firefly

Tabel 9. Nilai overshoot dan settling time sistem dengan controller PID-Firefly

Karakteristik	Nilai
Overshoot (pu)	-7.932e-05 & 6.793e-10
Settling time (detik)	5

Pada Tabel 9 nilai overshoot respon frekuensi dari sistem wind –diesel dengan kontrol PID-firefly adalah -7.932e-05 hingga 6.793e-05. Untuk mencapai kondisi steady state saat terjadi perubahan beban membutuhkan waktu sebesar 5 detik. Pada gambar 13 dan Tabel 9 menunjukkan bahwa respon respon frekuensi dari sistem wind-diesel berisolasi turun sebesar -7.932e-05 dan bila lebih dari 5 detik akan mencapai nilai steady statenya.



Gambar 13. Perbandingan Respon Frekuensi

Dari tiga model sistem pembangkit listrik hibrid wind-diesel yang telah disimulasikan, dapat disimpulkan bahwa suatu pembangkit listrik wind-diesel mutlak memerlukan controller sebagai peredam osilasi frekuensi yang terjadi akibat perubahan beban. Dengan membandingkan Controller PID-PSO dan controller PID-Firefly pada penelitian ini memiliki pengaruh yang signifikan dalam peredaman osilasi tersebut dan cocok diterapkan untuk sistem pembangkit hibrid Wind-Diesel, namun PID-firefly lebih baik daripada PID-PSO untuk diterapkan pada sistem.

KESIMPULAN

Metode cerdas *Particle Swarm Optimization (PSO)* dan algoritma *firefly* yang dirancang pada sistem kontrol hibrid *wind-diesel* mampu memperbaiki respon frekuensi pada saat proses sinkron.

Sistem hibrid *wind-diesel* yang menggunakan sistem kontrol *PID-Firefly* lebih baik dari pada menggunakan kontrol *PID-Trial Error* maupun kontrol *PID-PSO*. Meskipun algoritma *firefly* dan *PSO* adalah metode cerdas, ketepatan dalam mencari nilai *settling time* dan *overshoot* pada respon frekuensi lebih akurat *firefly*. Sedangkan bila hanya menggunakan *trial-error*, respon frekuensi yang didapatkan sangat buruk. Hal ini ditunjukkan dengan bila menggunakan *PID-Firefly*

Memiliki nilai *settling time* yang lebih cepat yaitu 5 detik dan nilai *overshoot* $-7.932e-05$ hingga $6.793e-10$. Sedangkan bila menggunakan *PID-PSO*

settling time yang lebih cepat daripada *PID-Trial Error* namun lebih lambat daripada *PID-Firefly* yaitu 5.8 detik dan nilai *overshoot* $-9.06e-05$ hingga $7.009e-10$. Respon frekuensi yang didapat jika menggunakan kontrol *PID-Trial Error* sangat buruk daripada menggunakan sistem kontrol dengan metode cerdas yaitu *settling time* 12.8 detik dan nilai *overshoot* -0.0002227 hingga $1.076e-05$.

DAFTAR PUSTAKA

T.S. Bhatti,(1995): *Load frequency control of isolated wind diesel hybrid power systems*. Sciencedirect : Energy Conversion and Management.1995.

S.C.Tripathy.(1995) : *Dynamic Performance Of Wind-Diesel Power System With Capacitive Energy Storage*. Indian Institute Of Technology. India.

S.C.Tripathy.(1995) : *Improved Load-Frequency Control With Capacitive Energy Storage*.1995.

T.S. Bhatti,(1997) : *Load-frequency control of isolated wind-diesel-microhydro hybrid power systems (WDMHPS)*.Centre for Energy Studies, Indian Institute of Technology, India. 1997.

Tomas,P. (2003) : *Modelling of Wind Turbines for Power System Studies*. 2003.

Robandi,I. (2006) :*Modern Power System Control*.ANDI, Yogyakarta. 2006.

Robandi,I. (2006) : *Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika*.ANDI. 2006.

Abidin,Z. (2010) : *Pengaturan Frekuensi Beban Hibrid Turbin Angin Diesel Dengan Menggunakan Algoritma Genetika*. Jurnal Teknik.2010.

Mohit Singh. (2011) : *Dynamic Models for Wind Turbines and Wind Power Plants*. 2011.

Tan Wen,(2011) : *Load frequency control for wind-diesel hybrid systems*. Control Conference (CCC), 2011 30th Chinese.

Hou,J. (2012) : *Load frequency control of wind diesel hybrid power systems via predictive control*. Control Conference (CCC), 2012 31st Chinese.

Soedibyo,dkk (2015) : *Design of Frequency Control on Hybrid Wind-Diesel with PID-Firefly*. International Electronics Symposium (IES), 2015.