

Desain Frekuensi Kontrol pada Hibrid Wind-Diesel dengan PID – Diferensial Evolusi

Dapis

Mahasiswa Program Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail : dapis.caniago@yahoo.co.id

Abstrak

Paper ini membahas desain kontrol frekuensi beban pada hibrid wind-diesel menggunakan Metode Cerdas untuk mencari nilai optimum Proporsional Integral Derivatif (PID) menggunakan program Matlab/Simulink. Dalam penerapannya sistem wind-diesel dikontrol dengan kontroler PID, namun dalam penyetalan nilai gain dari PID masih dalam metode trial-error saja, sehingga sulit untuk mendapatkan nilai optimum dari PID. Fungsi transfer dari diagram turbin angin dan diesel digunakan untuk pemodelan wind-diesel. Respon sistem menggunakan Simulink/ Matlab dibandingkan dengan sistem tak terkontrol dan dengan metode PID-Trial Error. Hasil pengujian menunjukkan besar overshoot dan respon keadaan mantap (*Settling Time*) pada sistem terkontrol PID-Diferensial Evolusi (DEVO) menjadi berkurang dan lebih cepat.

Kata Kunci: wind-diesel, PID, diferensial evolusi, frekuensi, overshoot, settling.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kesatuan yang terdiri dari ribuan pulau. Situasi inilah menyebabkan penyebaran sistem tenaga listrik yang tidak merata disetiap wilayah dan memaksa pulau-pulau terpencil untuk menggunakan generator diesel guna memperoleh sumber daya listrik. Pemanfaatan sumber energi baru terbarukan seperti turbin angin sebagai energi tambahan belum dapat mengatasi kekurangan pasokan daya [1]. Hal ini disebabkan oleh 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. Dengan memanfaatkan teknologi Hibrid Wind-Diesel diharapkan mampu melayani konsumen dengan optimal, karena kinerjanya yang lebih optimal dibanding dengan turbin angin yang berdiri sendiri (*Wind Stand Alone*) [2].

Sistem hibrid merupakan suatu jaringan yang terkontrol dari beberapa sumber energi terbarukan seperti turbin angin, photovoltaic, mikrohidro, dan sebagainya. Pada kenyataannya terdapat perbedaan pengaturan fluktuasi frekwensi maka hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas suplai tenaga yang ada pada sistem hibrid. Salah satu acuan dalam pelayanan kualitas listrik adalah stabilnya frekuensi. Frekuensi sistem tenaga harus dijaga agar stabil dan dalam spesifikasi teknis yang ditentukan

sehingga peralatan-peralatan pelanggan bisa beroperasi dengan bagus, efisien dan awet [3].

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 dilakkan 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 line aliran daya yang diakibatkan fluktuasi frekwensi dari interkoneksi sistem hibrid.

Paper [4]-[8] telah membahas pengoptimalan daya antara pembangkit dan beban untuk mengendalikan frekuensi pada Wind-Diesel. Berdasarkan beberapa permasalahan pengaturan frekwensi yang menyebabkan fluktuasi aliran daya pada berbagai jenis pembangkitan sistem hibrid yang terkoneksi diatas, maka peneliti mengambil tema Pengaturan Frekwensi Pada Sistem Daya Hibrid dengan Metode Cerdas Diferensial Evolusi (DEVO).

2. Metode

2.1 Hybrid Wind Turbin-Diesel

Pembangkit listrik tenaga angin (*wind power*) adalah konversi terjadinya energi listrik berdasarkan pada energi gerak/kecepatan angin sehingga energi gerak yang bisa dikonversi menjadi listrik melalui turbin. Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin adalah sebagai berikut [9] :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{E}{2} \cdot A \cdot \rho_a \cdot v^3 \text{ watt} \quad (1)$$

ρ_a : kerapatan angin pada waktu tertentu ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

v : kecepatan angin pada waktu tertentu (m/s)

Pembangkit listrik tenaga hybrid merupakan integrasi dari dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda [10]. 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 [11]. 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. Konfigurasi penggabungan *hybrid wind-diesel* dalam sistem tenaga listrik dapat meningkatkan pasokan energi dan membantu pembangkit diesel mengurangi pemakaian bahan bakar, konfigurasi ini ditunjukkan pada gambar 1. Fungsi probabilitas kerapatan kecepatan angin menurut distribusi Weibull dijelaskan pada persamaan berikut [9] :

$$f(v) = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (2)$$

c : factor skala ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

k : factor bentuk distribusi kecepatan angin

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, superkonduktor magnetik dan sistem penyimpanan energi baterai.

2.2 Pemodelan Hybrid Wind Turbin-Diesel

Analisis detail studi tentang sistem hibrid turbin angin diesel dan mikrohidro dengan menampilkan model sinyal transfer kecil. Pemilihan yang optimal dari gain kontrol disarankan menggunakan teknik ISE untuk kasus kontrol kontinyu dan kontrol diskrit. Permasalahan yang terjadi pada pembangkitan adalah terjadinya frekuensi osilasi yang rendah. Hal ini muncul karena setting gain yang terlalu tinggi dan penyetingan waktu konstan pada Automatic Voltage Regulator (AVR) yang terlalu rendah, kemudian banyaknya 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 tingginya 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.

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. Gambar 2.a dan 2.b menunjukkan model diagram blok fungsi transfer Turbin Angin-Diesel.

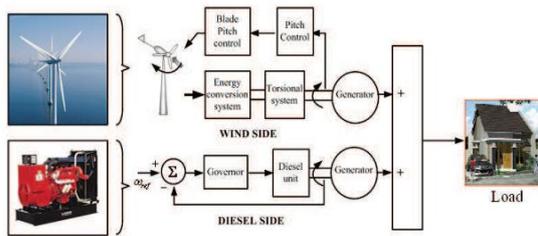
2.3 Diferensial Evolusi (Devo)

DEVO merupakan metode optimasi matematis fungsi multidimensional dan termasuk dalam kelompok evolutionary algorithm [12]. Kelebihan DEVO metode adalah adanya evolusi yang dialami oleh setiap individu dalam populasi dimana diferensiasi dan crossover terjadi secara berurutan pada setiap individu yang terpilih acak dari populasi setiap waktu. Hasil dari variasi ini dikenal sebagai *child* (turunan) atau trial individual yang akan menggantikan parents pada populasi apabila fitness yang dihasilkan lebih baik atau sama dengan yang dihasilkan parents. Sebuah algoritma evolusi pada awalnya mempertahankan

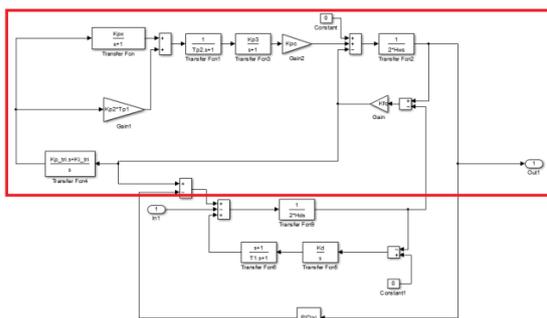
struktur populasi, lalu berkembang sesuai dengan aturan seleksi, mutasi rekombinasi dan kelangsungan hidup yang disebut dengan operator genetik. Untuk menentukan kesehatan dan performa dari tiap individu yang ada di populasi, dibutuhkan sebuah lingkungan bersama. Individu yang paling cocok dengan lingkungan ini lebih mungkin untuk diseleksi sebagai individu-individu untuk bereproduksi atau bereplikasi. Lalu rekombinasi dan mutasi memodifikasi individu - individu ini untuk menghasilkan sebuah individu unggul.

Algoritma evolusi bekerja dengan baik dalam mendekati solusi terhadap semua masalah karena algoritma ini tidak membuat asumsi [13]. Sebelum populasi dapat diinisialisasi, *upper* dan *lower bounds* untuk setiap parameter harus ditentukan, yaitu dengan vector inisialisasi D dimensi b_L dan b_U . L menunjukkan *lower* dan U menunjukkan *upper* n. Berikutnya adalah membangkitkan bilangan acak untuk setiap parameter j dari vector i pada iterasi g . Contohnya nilai inisial ($g = 0$) :

$$x_{j,i,0} = rand_j(0,1) \times b_{j,U} - b_{j,L} \quad (3)$$



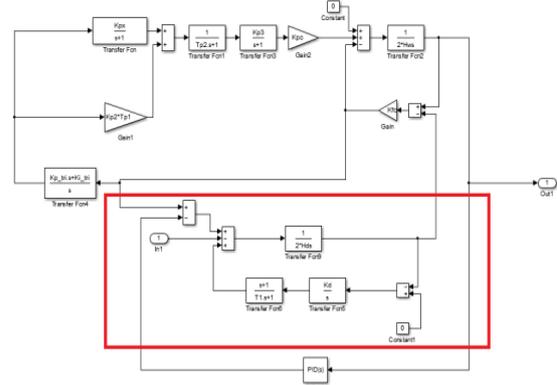
Gambar 1. Konfigurasi dasar sistem hybrid wind turbin – diesel.



Gambar 2a. Pemodelan pembangkit listrik wind turbin

Gambar 3. menunjukkan penggunaan distribusi uniform, DEVO dapat membangkitkan bilangan acaknya dengan distribusi yang lain. Keputusan menggunakan distribusi tertentu dalam pembangkitan bilangan acak ini tergantung pada pengetahuan terhadap lokasi titik optimal. Akan tetapi pada umumnya distribusi uniform digunakan dalam inisialisasi pembangkitan bilangan acak karena mampu

mengatasi kurangnya informasi lokasi titik optimal [14].



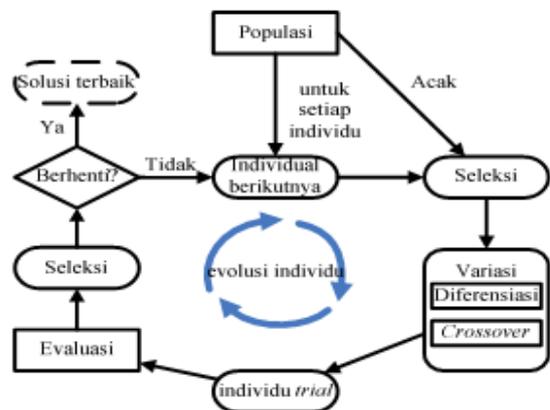
Gambar 2b. Prmodelan pembangkit listrik generator diesel

Bilangan acak diatas dibangkitkan berdasarkan distribusi uniform pada rentang (0,1) atau $0 \leq rand_j(0,1) < 1$. Setelah diinisialisasi, DEVO akan memutasi dan me-rekombinasi populasi awal untuk menghasilkan populasi baru. Mutasi pada beberapa kamus bahasa menunjukkan pengertian berubah dan dalam konteks genetika mutasi berarti perubahan dengan elemen acak.

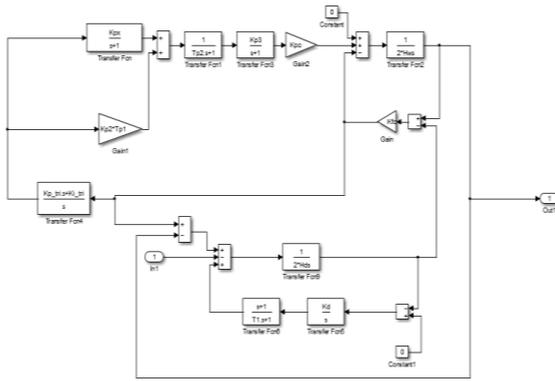
2.4 Penalaan Pid Dengan Devo

Parameter PID yang ditala oleh DEVO adalah K_p , K_i dan K_d . Berikut gambar 4. pemodelan untuk masing-masing model kontrol pada Simulink Matlab 2013, (a) untuk Wind-Diesel tanpa Kontrol, (b) dengan PID-Trial, dan (c) dengan PID-DEVO. Sementara gambar 6. menunjukkan semua metode yang digunakan. Fungsi objektif yang digunakan adalah dengan *Integral Time Absolute Error* (ITAE), seperti pada persamaan dibawah ini :

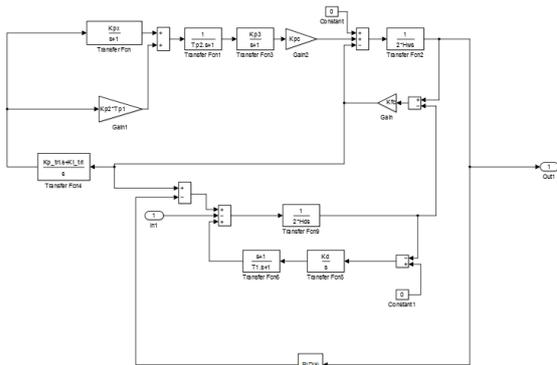
$$ITAE = \int_0^t |\Delta\omega(t)| dt \quad (4)$$



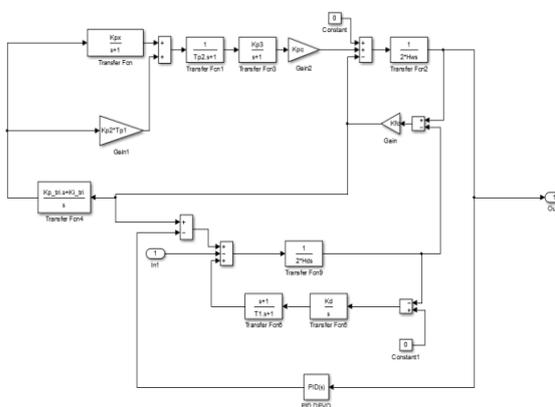
Gambar 3. Siklus Evolusi Individu Differential Evolution



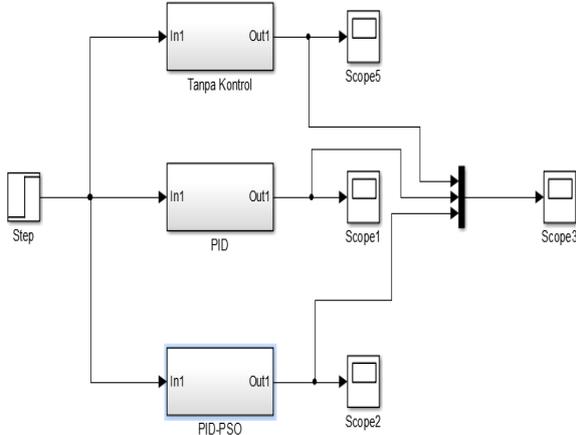
Gambar 4a. Pemodelan Simulink Tanpa Kontrol



Gambar 4b. Pemodelan Simulink PI-Trial Error



Gambar 4c. Pemodelan Simulink PID-DEVO



Gambar 5. Pemodelan Simulink Semua Model

Tabel 1. menunjukkan data parameter-parameter DEVO yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 1: Parameter DEVO

Parameter	Nilai
Jumlah Parameter	3
Cross over	0.8
Jumlah Populasi	30
Strategi	7
Iterasi	50

Tabel 2. Hasil Optimasi PID dengan DEVO

Iteration: 50, Best: 0.000040, F: 0.700000, CR: 0.800000, NP: 30
best(1) = 79.999917
best(2) = 59.999826
best(3) = 9.900626
iter = 51
kp_devo = 79.9999
ki_devo = 59.9998
kd_devo = 9.9006

Tabel 3. Hasil Penalaan Parameter PID

Parameter	Konstrain		DEVO
	Bawah	Atas	
K_p	80	90	79.9999
K_i	50	60	59.9998
K_d	10	15	9.9006

Tabel 2. menunjukkan hasil optimasi PID dengan metode DEVO dengan menggunakan parameter pada table sebelumnya. Hasil optimasi DEVO didapatkan nilai *fitness function* sebesar 0.700000 dengan 50 iterasi. Tabel 3. diatas menunjukkan hasil penalaan DEVO nilai K_p 79,9999 dengan batas bawah 80 dan batas atas 90. Untuk nilai K_i 59,9998 dengan batas bawah 50 dan batas atas 60. Sementara itu nilai penalaan untuk K_d sebesar 9,9006 dengan batas bawah 10 dan batas bawah 15.

3. Hasil Simulasi dan Analisis

3.1 Respon Frekuensi Wind-Diesel Unncontroller

Simulasi pertama adalah simulasi *open loop wind-diesel* tanpa *controller*. Berikut gambar 6. menunjukkan grafik hasil simulasi wind-diesel tanpa kontroler dengan respon frekuensi Wind-Diesel *open loop* atau tanpa dilengkapi *controller*. Dari grafik tersebut didapatkan nilai *overshoot* dan *settling time* Wind-Diesel yang sangat besar, seperti pada tabel 4. Nilai *overshoot* dan *settling time* yang dihasilkan dari simulasi pembangkit Wind-Diesel tanpa *controller* diatas merupakan nilai *overshoot* dan *settling time* yang paling besar diantara semua simulasi yang dilakukan, yaitu sebesar -

0.0002344 hingga 2.15×10^{-5} dengan settling time selama 13.2s. Hal ini disebabkan karena *control* frekuensi dari sistem hanya dilakukan atau dibebankan kepada governor saja, sehingga sistem yang tidak dilengkapi *controller* frekuensi pada generatornya ini menjadi sistem yang paling tidak stabil diantara sistem lain yang diberi *controller*.

3.2 Respon Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan PID Trial-Error

Pada gambar 7. merupakan hasil simulasi terlihat menggunakan kontrol PID - Trial Error, hal ini menunjukkan 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. Dapat dilihat dari nilai yang tertera pada tabel 5. di atas bahwa dengan pemasangan *controller* PID-Trial Error, frekuensi sistem berosilasi antara -0.0002227 hingga 1.076×10^{-5} .

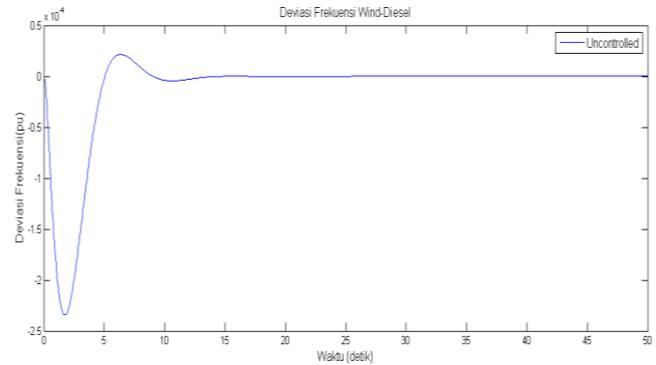
Ketika terjadi gangguan seperti perubahan beban, peredaman osilasi tersebut membutuhkan waktu 12.8 detik untuk mencapai kondisi tunaknya. Jika dibandingkan dengan respon frekuensi sistem yang tidak dilengkapi dengan *controller* PID, nilai *overshoot* nya menjadi lebih kecil, namun tidak direkomendasikan digunakan sebagai pengontrol.

3.3 Respon Frekuensi Wind-Diesel Menggunakan Controller PID-DEVO

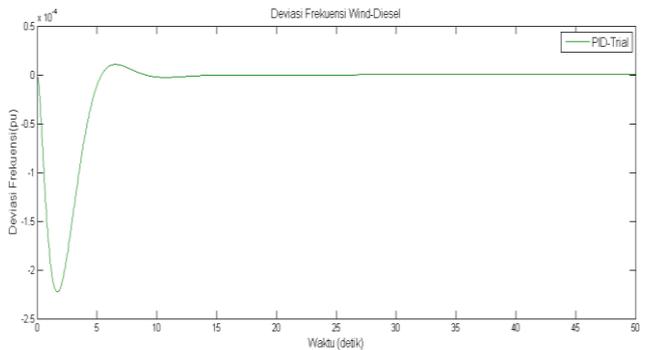
Berikutnya simulasi dengan menggunakan kontroler PID-DEVO, ditampilkan pada gambar 8. Terlihat bahwa hasil respon frekuensi untuk sistem Wind-Diesel dengan *controller* PID-Devo. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa nilai *overshoot* dan nilai *settling time* nya yaitu seperti pada tabel 6. Nilai *overshoot* yang pada sistem ini menjadi lebih kecil, yaitu sebesar -7.932×10^{-5} hingga 6.792×10^{-10} menunjukkan bahwa ketika sistem mengalami perubahan beban atau gangguan, maka frekuensi sistem berisilasi turun sebesar -7.932×10^{-5} pu, dan akan kembali pada nilai tunak nya setelah setelah >5.4 detik lebih. Setelah semua model disimulasikan, kemudian hasil tersebut digabungkan dalam satu simulasi, gambar 9. menunjukkan perbandingan dari seluruh disain .

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. *Controller* PID-DEVO yang diajukan dalam penelitian ini memiliki pengaruh yang signifikan dalam peredaman

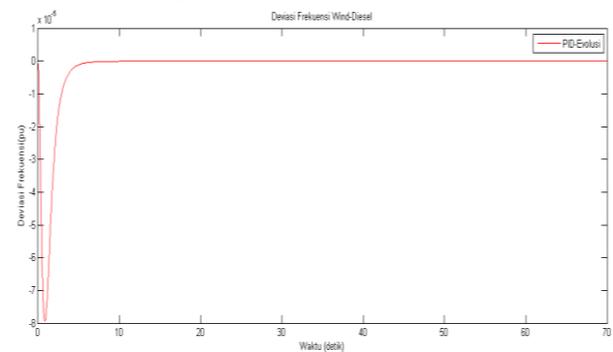
osilasi tersebut dan cocok diterapkan untuk sistem pembangkit hibrid Wind-Diesel, di mana untuk metode penalaannya dengan menggunakan metode cerdas *Artificial Intelligent Diferensial Evolusi*.



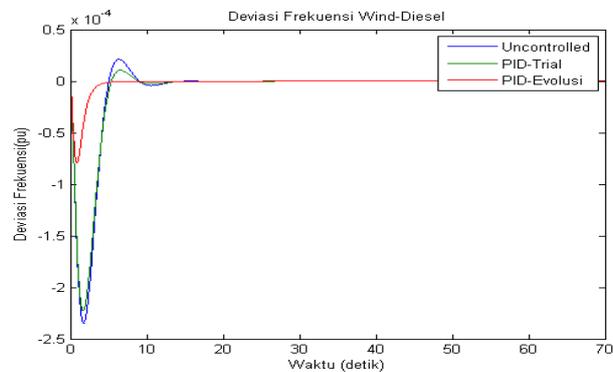
Gambar 6. Grafik frekuensi Wind-Diesel tanpa kontroler



Gambar 7. Grafik respon frekuensi Wind-Diesel dengan controller PID-Trial Error



Gambar 8. Grafik respon frekuensi Wind-Diesel yang dilengkapi controller PID-DEVO



Gambar 9. Grafik perbandingan respon frekuensi keempat kontroler

Tabel 4 Nilai *overshoot* dan *settling time*

Karakteristik	Nilai
<i>Overshoot (pu)</i>	-0.0002344 & 2.15e-05
<i>Settling time (detik)</i>	13.2

Tabel 5. Nilai *overshoot* dan *settling time* system dengan *controller PID-Trial Error*

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

Tabel 6. Nilai *overshoot* dan *settling time* sistem dengan *controller PID-Devo*

Karakteristik	Nilai
<i>Overshoot (pu)</i>	-7.932e-05 & 6.792e-10
<i>Settling time (detik)</i>	5,4

4. Kesimpulan

Dengan menggunakan metode cerdas *Diferensial Evolusi (DEVO)* sebagai metode penalaan *controller* PID, didapatkan hasil penalaan parameter nilai PID yang optimal di mana, $K_p = 79.9999$, $K_i = 59.9998$, $K_d = 9.9006$. Dengan menggunakan PID-DEVO pada sistem kontrol *Load Frequency Control (LFC)* yang dirancang, dapat memperbaiki respon frekuensi sebuah sistem Wind-Diesel. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *settling time* sebesar 5.8 detik yang merupakan nilai *settling time* tercepat dan juga nilai *overshoot* sebesar $-7.932e-05$ hingga $6.792e-10$ pu yang merupakan nilai *overshoot* terkecil dari model kontroler yang lain.

Daftar Pustaka

- [1] Permana. DA, Wibawa. U, Utomo. T, "Studi Analisis Pembangkit Listrik Hybrid (Dieselangin) Di Pulau Karimun Jawa". Universitas Brawijaya, 2013
- [2] DP. Sari, R. Nazir, "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array Menggunakan Homer", Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol: 4, No. 1, Maret 2015.
- [3] Cuk Supriyadi A.N, Hashiguchi T, Goda T and Tumiran, "Control Scheme of Hybrid Wind-Diesel Power Generation System". Technical Requirements and Spin Off Products, April 2011.
- [4] Bhatti TS, Al-Ademi AAF, Bansal NK. Load frequency control of isolated wind diesel hybrid power systems. Energy Conv and Manag; 39(9), 829-837.
- [5] Bhatti TS, Al-Ademi AAF, Bansal NK. "Dynamics and control of isolated wind-diesel power systems". Int J Energy Res 1995; 19, 729-740.
- [6] Tomas,P. "Modelling of Wind Turbines for Power System Studies". 2003.

- [7] Robandi,I. "Modern Power System Control". ANDI, Yogyakarta. 2006.
- [8] Robandi,I. "Desain Sistem Tenaga Modern: Optimasi, Logika Fuzzy, dan Algoritma Genetika".ANDI. 2006.
- [9] Wagner, H J and Mathur, J, 2009, Introduction to Wind Energy Systems:Basic, Technology, and Operation. Germany: Springer
- [10] Rosyid, O. A., "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hibrida Untuk Listrik Pedesaan di Indonesia", Jurnal Material dan Energi Indonesia, vol. 1, no. 1, hal. 31-38, 2011.
- [11] Abidin,Z." Pengaturan Frekuensi Beban Hibrid Turbin Angin Diesel Dengan Menggunakan Algoritma Genetika". Jurnal Teknika.2010.
- [12] Price, K.V., Storn, R.M., dan Lampinen, J.A. (2005). Differential Evolution : A Practical Approach to Global Optimization. Natural Computing Series. Springer-Verlag, Berlin.
- [13] Das, S., Abraham, A., Chakraborty, U.K., dan Konar, A. (2009). Differential Evolution Using a Neighborhood-based Mutation Operator. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 13, pp.526-553.
- [14] Feoktistov, V. (2006). Differential Evolution: In Search of Solutions.Springer Optimization and Its Applications, Vol.5. Springer, New York.