

SIMULASI SISTEM EKSITASI UNTUK KONDENSATOR SINKRON PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Tejo Sukmadi

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
tejosukmadi@gmail.com

ABSTRACT

Tejo Sukmadi, in paper a model of wind energy power generation excitation system will be simulated. The focus was on the modelling and parameters optimization of the DC1A type excitation systems for synchronous condenser as voltage regulation on the power plant. Excitation system optimization is made by using genetic algorithms method. The parameters optimization should have the optimal combination and the voltage regulation of wind energy power plants model find the best value when there is a change in the wind speed. The simulation and analysis found that systems with excitation system parameterized combination of genetic algorithms experiment using crossovers opportunities 0.6 and mutations opportunities 0.032, which $K_a = 297.2350$, $K_e = 0.6162$, $K_f = 0.01$, $T_a = 0.01$, $T_e = 0.01$ and $T_f = 0.6278$ is the best combination of excitation parameters obtained. By generating the 115.6604 ITAE value, over shoot 1,54%, steady state 0,44 s, the smallest voltage value after wind speed change is 0.9957 pu and the largest voltage value after wind speed change is 1.0025 pu.

Keywords : wind energy power generation, excitation system, synchronous condenser, genetic algorithms.

PENDAHULUAN

Teknologi pembangkit listrik tenaga angin pada dua dekade ini berkembang sangat pesat. Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin memiliki banyak manfaat namun agar dapat dimanfaatkan pada banyak aplikasi dan sesuai secara ekonomis maka proses pembangkitan listrik sistem ini sendiri harus andal. Sistem ini harus memiliki efisiensi tinggi dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan pembangkit alternatif lain yang ada saat ini.

Namun energi angin memiliki karakteristik yang berubah-ubah sehingga apabila output generator induksi dihubungkan pada jaringan akan menyebabkan transfer daya dan tegangan yang berubah-ubah. Sehingga permasalahan ini perlu dianalisa dan dikembangkan solusi pemecahannya. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah pengaturan kestabilan tegangan menggunakan kondensator sinkron. Kondensator sinkron merupakan motor sinkron yang beroperasi tanpa beban dimana komponen utama pembentukan profil tegangan terminal adalah sistem eksitasinya. Sistem eksitasi merupakan komponen yang sangat penting dalam pengoperasian mesin sinkron. Secara keseluruhan sistem eksitasi ini berperan dalam pengaturan daya reaktif dan meningkatkan sistem kestabilan tenaga listrik dengan tenaga angin. Pengaturan sistem eksitasi yang tepat dari sebuah sistem eksitasi dapat meningkatkan kestabilan dan keandalan sistem tenaga listrik. Sebaliknya pengaturan parameter yang tidak tepat pada sistem eksitasi dapat menurunkan keandalan sistem tenaga listrik.

Tujuan penelitian adalah untuk memperoleh parameter K_a , K_e , K_f , T_a , T_e , dan T_f sistem eksitasi

tipe DC1A standar IEEE yang digunakan pada kondensator sinkron menggunakan metode algoritma genetika. Dan membandingkan unjuk kerja sistem eksitasi kondensator sinkron dengan parameter K_a , K_e , K_f , T_a , T_e , dan T_f yang diperoleh menggunakan teknik komputasi algoritma genetika dengan parameter K_a , K_e , K_f , T_a , T_e , dan T_f dari contoh parameter jurnal IEEE 421.5 2005 pada kondisi perubahan kecepatan angin.

METODE PENELITIAN

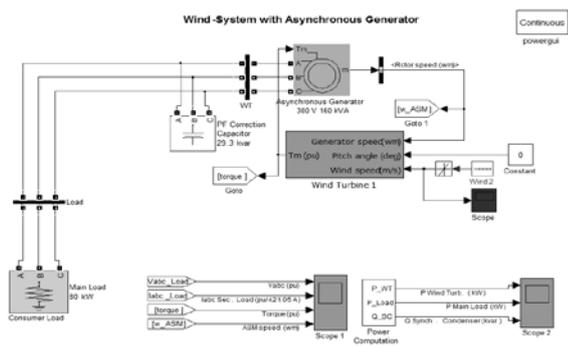
Metode penelitian yang digunakan adalah pemodelan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan sistem eksitasi kondensator sinkron kedalam bentuk model simulink perangkat lunak MATLAB kemudian dianalisa berdasarkan kondisi sebelum sistem eksitasi dioptimasi dan sesudah dioptimasi. Berikut adalah penjelasan proses pembuatan model dan program optimasi sistem.

Rangkaian Simulasi

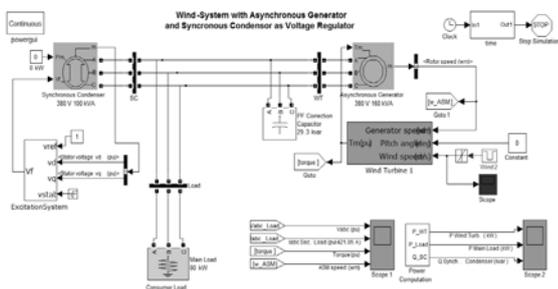
Rangkaian simulasi dari pengaturan tegangan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.

Spesifikasi model yang digunakan antara lain, model turbin angin digunakan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi kinetik yang kemudian dikonversi lagi menjadi energi listrik oleh generator. Model mesin induksi tiga fasa tipe *squirrel cage* (mesin induksi rotor sangkar bajing) yang digunakan sebagai generator induksi dengan kemampuan menghasilkan daya 160 kVA, tegangan antar fasa 380 volt dan frekuensi listrik 50 Hertz. Nilai R_s , L_{ls} , R_r , L_{lr} , L_m , Inertia, pole, dan Friction Factor berturut-turut adalah 0,01379 pu, 0,04775 pu,

0,007728 pu, 0,04775 pu, 2,416 pu, 0,2236 pu, 2 pasang, dan 0,008726 pu



Gambar 1. Model simulink sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron

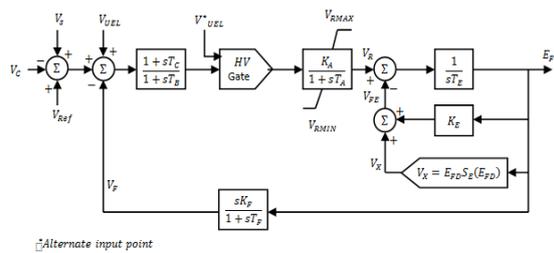


Gambar 2. Model simulink sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron

Daya kapasitor yang dipilih adalah 29,3 kVAR Sedangkan *Consumer Load* yang digunakan adalah beban resistif tiga fasa dengan besar daya 80 kW. Model mesin sinkron yang digunakan dalam simulasi ini adalah model mesin sinkron dalam satuan pu (per unit) dengan daya 100 kVA, tegangan antar fasa 380 volt dan frekuensi listrik 50 Hertz. Kondisi awal pada model mesin sinkron ini berdasarkan nilai awal pada MATLAB yaitu nilai arus sebesar 0,827 pu untuk tiap-tiap fasa dan tegangan medan pada *rotor* atau eksitasi sebesar 2,71455 pu. Nilai masukan daya mekanis yang diberikan pada model mesin sinkron bernilai 0 kW.

Pemodelan Sistem Eksitasi

Fungsi utama sebuah sistem eksitasi adalah untuk menyediakan arus searah (AS/DC) ke kumparan medan mesin sinkron. Selain itu, sistem eksitasi melakukan kontrol dan fungsi perlindungan untuk kehandalan performa sistem listrik dengan cara mengatur tegangan medan dan arus medan. Dalam penelitian ini, sistem eksitasi yang dibahas adalah sistem eksitasi tipe DC1A seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.

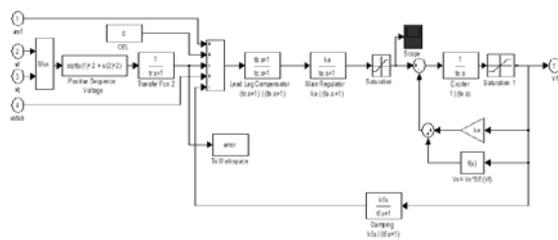


Gambar 3. Model eksitasi tipe DC1A

Model eksitasi tipe DC1A merepresentasikan *exciter* DC komutator pengatur medan, dengan respon pengatur tegangan yang berkelanjutan. Eksitasi bisa saja merupakan eksitasi terpisah ataupun eksitasi tunggal, meskipun tipe eksitasi sendiri menjadi tipe yang lebih biasa. Jika eksitasi adalah eksitasi sendiri K_E dipilih sehingga pada awalnya $V_R = 0$, V_R merepresentasikan aksi operator untuk melacak pengatur tegangan yaitu dengan secara periodik memangkas nilai error melalui setelan rheostat tipe shunt.

Sinyal *input* utama ke masing-masing sistem eksitasi adalah *output* V_C dari *transducer*. Pada titik penjumlahan pertama, sinyal V_C dikurangi dari referensi pengatur voltase V_{ref} dan *output* V_S dari sistem penstabil kekuatan, jika digunakan, ditambahkan untuk menghasilkan sinyal penggerak yang mengatur sistem eksitasi. Sinyal tambahan, seperti halnya pembatas *output* eksitasi (V_{UEL}), hanya berperan selama kondisi ekstrim atau tidak biasa. Di bawah keadaan stabil, $V_S=0$ dan V_R bernilai tidak biasa untuk kondisi mesin sinkron berbeban sehingga sinyal error menghasilkan medan voltase E_{fd} yang diperlukan.

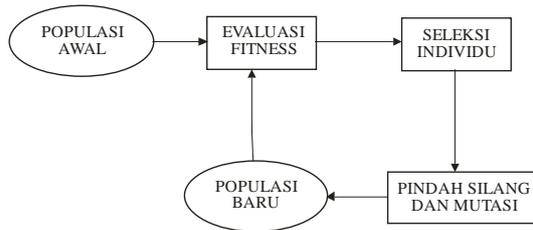
Perancangan model sistem eksitasi dalam penelitian ini merencanakan besar konstanta penguatan untuk sistem Amplifier (K_A dan T_A), Exciter (K_E dan T_E), dan Stabilizer/Regulator (K_f dan T_f). Model standar yang digunakan adalah sistem eksitasi tipe DC1A standar IEEE 421.5 2005. Model sistem eksitasi yang digunakan pada rangkaian simulasi MATLAB adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Model sistem eksitasi TIPE DC1A pada MATLAB

Pembuatan Program Optimasi

Pada penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah teknik komputasi algoritma genetika. Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu – individu, yang masing – masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai fitness yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada. Siklus dalam algoritma genetika dapat disederhanakan seperti terlihat pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Siklus Algoritma Genetika

Dalam penerapan algoritma genetika, ada beberapa parameter yang dilibatkan, di mana parameter ini menentukan kesuksesan suatu proses optimasi. Jenis parameter yang digunakan bergantung pada permasalahan yang diselesaikan, namun ada beberapa parameter yang menjadi standar, yaitu:

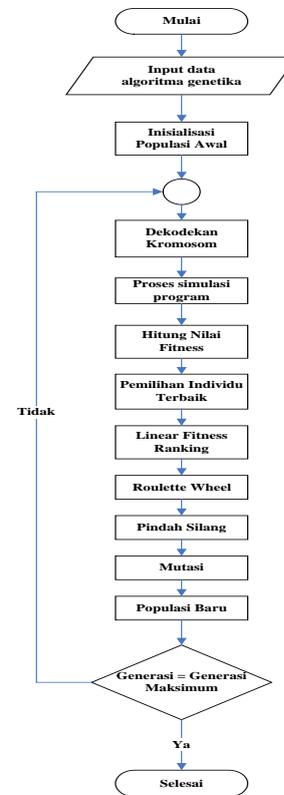
- Ukuran populasi (pop_size)
- Probabilitas *crossover* (p_c)
- Probabilitas mutasi (p_m)

Program ini dibuat dalam 9 tahap, Tahap-tahap tersebut dirumuskan dalam diagram alir yang ditunjukkan oleh gambar 9. Pada program optimasi, fungsi objektif digunakan untuk mengetahui atau mengukur secara kualitatif seberapa baik solusi yang dihasilkan atau model yang terbentuk berdasarkan tujuan perencanaan sedangkan fungsi fitness digunakan untuk mengetahui secara kualitatif solusi yang dihasilkan berdasarkan fungsi objektif dan pelanggaran kendala (*Constraints Violance*). Dalam pemodelan sistem eksitasi fungsi objektif dibentuk berdasarkan akumulasi kesalahan tanggapan sistem dalam suatu durasi waktu simulasi tertentu. Teori yang mendukung pembentukan fungsi objektif adalah, kinerja suatu sistem kontrol terukur berdasarkan metode ITAE (*Integral of Time Multiplied by Absolute Error*) atau besar akumulasi kesalahan tanggapan sistem dikalikan dengan waktu untuk satu periode simulasi, secara matematis perhitungan diskrit dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut.

$$ITAE = \sum_{t=0, t+\Delta t}^{t_s} t|\varepsilon(t)|$$

(1)

dimana Δt adalah lebar cuplikan waktu simulasi.

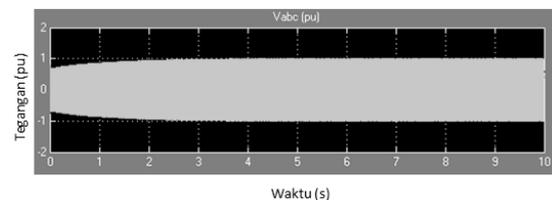


Gambar 6. Diagram alir program optimasi

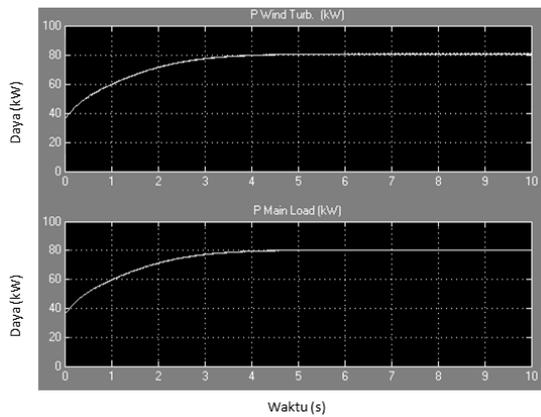
PENGUJIAN DAN ANALISA

Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron dan dengan kondensator sinkron

Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi kecepatan angin tetap

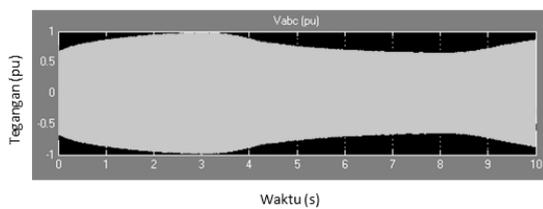


Gambar 7. Tegangan terminal (Vabc) pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi angin tetap

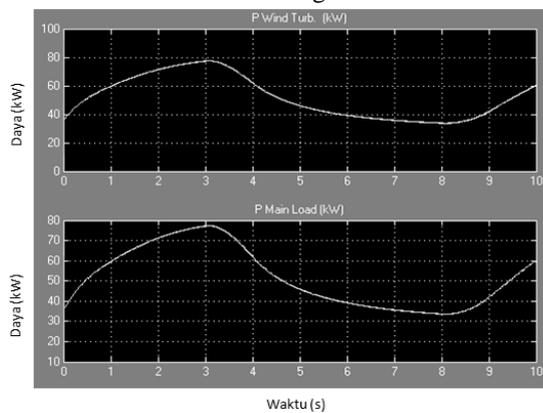


Gambar 8. Daya generator turbin dan daya beban pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi angin tetap

Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi kecepatan angin berubah

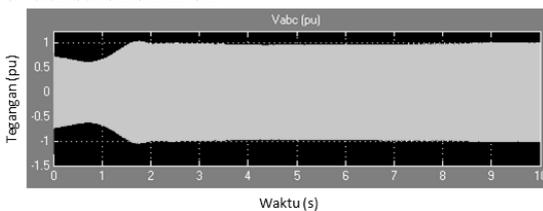


Gambar 9. Tegangan terminal (V_{abc}) pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi angin berubah

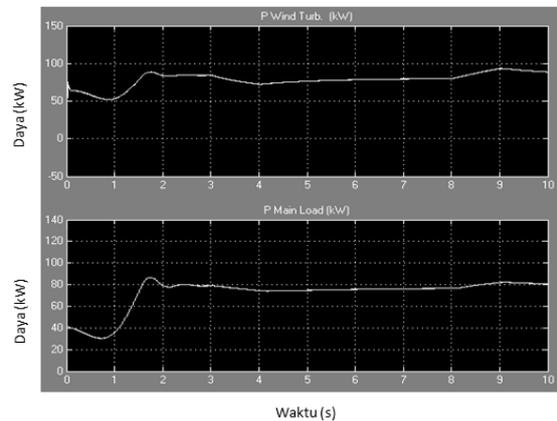


Gambar 10. Daya generator turbin dan daya beban pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron kondisi angin berubah

Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron



Gambar 11. Tegangan terminal (V_{abc}) pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron kondisi angin berubah



Gambar 12. Daya generator turbin dan daya beban pada simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron kondisi angin berubah

Simulasi Optimasi Sistem Eksitasi

Simulasi Optimasi Sistem Eksitasi Kombinasi Parameter Algen 1

Pada simulasi ini, parameter sistem eksitasi kondensator sinkron pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin serta parameter algoritma genetika jumlah generasi (MaxG) dan jumlah populasi (UkPop) pada nilai awal. Sedangkan peluang pindah silang (Psilang) dimasukkan sebesar 0,8 dan peluang mutasi (Pmutasi) sebesar 0,1, 0,070, 0,048, 0,032, dan 0,016. Hasil dari simulasi diperoleh data seperti yang ditunjukkan tabel 1.

Kombinasi parameter K_a , K_e , K_f , T_a , T_e dan T_f terbaik dapat ditentukan dengan memilih kombinasi dengan nilai ITAE paling kecil. Dari tabel 1 diatas diperoleh kombinasi terbaik adalah percobaan kedua kombinasi parameter algen dengan peluang pindah silang 0,8 dan peluang mutasi 0,032.

Simulasi Optimasi Sistem Eksitasi Kombinasi Parameter Algen 2

Pada simulasi ini, peluang pindah silang (Psilang) dimasukkan sebesar 0,7 dan peluang mutasi (Pmutasi) sebesar 0,1, 0,070, 0,048, 0,032, dan 0,016. Hasil dari simulasi diperoleh data seperti yang ditunjukkan tabel 2.

Dari tabel 2 diatas diperoleh kombinasi terbaik adalah percobaan kedua kombinasi parameter algen dengan peluang pindah silang 0,7 dan peluang mutasi 0,048.

Simulasi Optimasi Sistem Eksitasi Parameter Algen 3

Pada simulasi ini, peluang pindah silang (Psilang) dimasukkan sebesar 0,6 dan peluang mutasi (Pmutasi) sebesar 0,1, 0,070, 0,048, 0,032, dan 0,016. Hasil dari simulasi diperoleh data seperti yang ditunjukkan tabel 3.

Tabel 1 Hasil simulasi optimasi sistem eksitasi dengan peluang pindah silang 0,8

Nilai peluang mutasi	Percobaan	ITAE	Nilai parameter sistem eksitasi
0,1	1	127,366 1	Ka = 271,8469, Ke = 0,4932, Kf = 0,01, Ta = 0,0129, Te = 0,011, dan Tf = 0,3184
	2	125,024 0	Ka = 252,9943, Ke = 0,5968, Kf = 0,0148, Ta = 0,0158, Te = 0,01, dan Tf = 0,6462
0,070	1	120,368 5	Ka = 265,06, Ke = 0,6084, Kf = 0,01, Ta = 0,0148, Te = 0,0119, dan Tf = 0,4808
	2	121,355 2	Ka = 266,5682, Ke = 0,6075, Kf = 0,0119, Ta = 0,0129, Te = 0,011, dan Tf = 0,7854
0,048	1	211,506 4	Ka = 290,6994, Ke = 0,6294, Kf = 0,0719, Ta = 0,446, Te = 0,01, dan Tf = 0,936
	2	202,940 7	Ka = 52,9061, Ke = 0,2797, Kf = 0,0719, Ta = 0,0293, Te = 0,01, dan Tf = 0,9894
0,032	1	116,078 5	Ka = 298,7432, Ke = 0,6288, Kf = 0,0100, Ta = 0,0119, Te = 0,0100, dan Tf = 0,6268
	2	115,952 4	Ka = 282,4043, Ke = 0,6007, Kf = 0,01, Ta = 0,01, Te = 0,01, dan Tf = 0,6036
0,016	1	303,149 2	Ka = 59,1902, Ke = 0,1260, Kf = 0,1338, Ta = 0,0796, Te = 0,409, dan Tf = 0,7467
	2	320,218 3	Ka = 286,1748, Ke = 0,5118, Kf = 0,1338, Ta = 0,9894, Te = 0,0255, dan Tf = 0,9990

Tabel 2 Hasil simulasi optimasi sistem eksitasi dengan peluang pindah silang 0,7

Nilai peluang mutasi	Percobaan	ITAE	Nilai parameter sistem eksitasi
0,1	1	140,98 64	Ka = 243,4424, Ke = 0,4973, Kf = 0,0255, Ta = 0,0187, Te = 0,011, dan Tf = 0,6926
	2	131,50 88	Ka = 257,7703, Ke = 0,5040, Kf = 0,0158, Ta = 0,0119, Te = 0,0139, dan Tf = 0,5524
0,070	1	123,96	Ka = 297,7377, Ke = 0,6055, Kf = 0,0129, Ta = 0,0245, Te = 0,0110, dan Tf = 0,0521
	2	118,64 32	Ka = 245,4533, Ke = 0,5968, Kf = 0,01, Ta = 0,0139, Te = 0,01, dan Tf = 0,5021
0,048	1	118,65 31	Ka = 298,2404, Ke = 0,6268, Kf = 0,01, Ta = 0,0129, Te = 0,011, dan Tf = 0,4934
	2	116,49 51	Ka = 273,6064, Ke = 0,6152, Kf = 0,01, Ta = 0,011, Te = 0,01, dan Tf = 0,5659
0,032	1	127,90 38	Ka = 298,2404, Ke = 0,4895, Kf = 0,01, Ta = 0,011, Te = 0,011, dan Tf = 0,4325
	2	130,94 24	Ka = 260,5354, Ke = 0,5031, Kf = 0,0158, Ta = 0,011, Te = 0,01, dan Tf = 0,7873
0,016	1	170,53 00	Ka = 218,0543, Ke = 0,6210, Kf = 0,0409, Ta = 0,1028, Te = 0,01, dan Tf = 0,0751
	2	212,96 18	Ka = 290,9508, Ke = 0,5582, Kf = 0,0728, Ta = 0,2082, Te = 0,011, dan Tf = 0,9884

Tabel 3 Hasil simulasi optimasi sistem eksitasi dengan peluang pindah silang 0,6

Nilai peluang mutasi	Percobaan	ITAE	Nilai parameter sistem eksitasi
0,1	1	132,1 196	Ka = 241,9342, Ke = 0,4953, Kf = 0,0119, Ta = 0,011, Te = 0,011, dan Tf = 0,6887
	2	123,9 335	Ka = 264,8086, Ke = 0,5756, Kf = 0,0139, Ta = 0,01, Te = 0,0129, dan Tf = 0,6181
0,070	1	163,3 008	Ka = 285,1693, Ke = 0,6142, Kf = 0,0245, Ta = 0,0148, Te = 0,0216, dan Tf = 0,4615
	2	123,2 150	Ka = 283,6611, Ke = 0,6326, Kf = 0,0139, Ta = 0,0197, Te = 0,01, dan Tf = 0,7844
0,048	1	215,1 109	Ka = 260,7867, Ke = 0,6336, Kf = 0,0719, Ta = 0,5939, Te = 0,01, dan Tf = 0,9314
	2	327,7 955	Ka = 299,4973, Ke = 0,6307, Kf = 0,1338, Ta = 0,9362, Te = 0,0409, dan Tf = 0,9932
0,032	1	293,6 303	Ka = 161,9994, Ke = 0,2575, Kf = 0,1338, Ta = 0,1076, Te = 0,0158, dan Tf = 0,999
	2	115,6 604	Ka = 297,2350, Ke = 0,6162, Kf = 0,01, Ta = 0,01, Te = 0,01, dan Tf = 0,6278
0,016	1	319,3 446	Ka = 289,1912, Ke = 0,5060, Kf = 0,1338, Ta = 0,9304, Te = 0,0206, dan Tf = 0,9971
	2	319,3 541	Ka = 231,6281, Ke = 0,4654, Kf = 0,01338, Ta = 0,6017, Te = 0,0206, dan Tf = 0,9981

Tabel 4 Hasil simulasi optimasi sistem eksitasi dengan peluang pindah silang 0,5

Nilai peluang mutasi	Percobaan	ITAE	Nilai parameter sistem eksitasi
0,1	1	140,9 931	Ka = 165,2672, Ke = 0,5002, Kf = 0,0177, Ta = 0,0119, Te = 0,0206, dan Tf = 0,4895
	2	131,8 365	Ka = 261,7922, Ke = 0,5814, Kf = 0,0139, Ta = 0,0168, Te = 0,0197, dan Tf = 0,7071
0,070	1	119,0 121	Ka = 291,7049, Ke = 0,6113, Kf = 0,01, Ta = 0,0119, Te = 0,01, dan Tf = 0,4944
	2	119,3 164	Ka = 225,3439, Ke = 0,5727, Kf = 0,01, Ta = 0,011, Te = 0,01, dan Tf = 0,4712
0,048	1	116,8 133	Ka = 296,9836, Ke = 0,6384, Kf = 0,01, Ta = 0,011, Te = 0,01, dan Tf = 0,7013
	2	129,1 377	Ka = 291,9563, Ke = 0,5021, Kf = 0,0168, Ta = 0,01, Te = 0,01, dan Tf = 0,6075
0,032	1	124,3 595	Ka = 227,1035, Ke = 0,5040, Kf = 0,01, Ta = 0,01, Te = 0,01, dan Tf = 0,4083
	2	198,7 230	Ka = 45,1137, Ke = 0,2739, Kf = 0,0719, Ta = 0,0187, Te = 0,01, dan Tf = 0,9961
0,016	1	206,2 099	Ka = 282,6554, Ke = 0,3532, Kf = 0,0719, Ta = 0,0477, Te = 0,01, dan Tf = 0,9845
	2	318,6 516	Ka = 256,0107, Ke = 0,4219, Kf = 0,1338, Ta = 0,3445, Te = 0,0187, dan Tf = 0,9961

Tabel 5 Perbandingan performansi tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa dan dengan kondensator sinkron

No	Performansi	Pembangkit tanpa kondensator sinkron	Pembangkit dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi dari jurnal IEEE
1	<i>Rise time</i> (s)	1,415	1,4
2	Over Shoot (%)	-	4
3	<i>Steady state</i> (s)	-	2,5
4	Tegangan terkecil setelah perubahan kecepatan angin (pu)	0,648	0,962
5	Tegangan terbesar setelah perubahan kecepatan angin (pu)	0,864	1,0135

Tabel 6 Perbandingan performansi tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron parameter jurnal IEEE dan parameter hasil optimasi

Model sistem Pembangkit	Dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi dari jurnal IEEE	Dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi kombinasi 1	Dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi kombinasi 2	Dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi kombinasi 3	Dengan kondensator sinkron, parameter sistem eksitasi kombinasi 4
	Performansi				
ITAE	840,2698	115,9524	116,4951	115,6604	116,8133
<i>Rise time</i> (s)	1,4	0,164	0,17	0,17	0,17
Over Shoot (%)	4	2,28	1,64	1,54	1,33
<i>Steady state</i> (s)	2,5	0,47	0,47	0,44	0,50
Tegangan terkecil setelah perubahan kecepatan angin (pu)	0,962	0,9957	0,9955	0,9957	0,9958
Tegangan terbesar setelah perubahan kecepatan angin (pu)	1,0135	1,0026	1,0026	1,0025	1,0023

Dari tabel 3 di atas kombinasi terbaik adalah percobaan kedua kombinasi parameter algen dengan peluang pindah silang 0,6 dan peluang mutasi 0,032.

Simulasi Optimasi Sistem Eksitasi Kombinasi Parameter Algen 4

Pada simulasi ini, peluang pindah silang (Psilang) dimasukkan sebesar 0,5 dan peluang mutasi (Pmutasi) sebesar 0,1, 0,070, 0,048, 0,032, dan 0,016. Hasil dari simulasi diperoleh data seperti yang ditunjukkan tabel 4.

Dari tabel 4 di atas diperoleh kombinasi terbaik adalah percobaan pertama kombinasi parameter algen dengan peluang pindah silang 0,5 dan peluang mutasi 0,048.

Perbandingan Unjuk Kerja

Perbandingan Performansi Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa dan dengan kondensator sinkron

Dari tabel 5, gambar 12 dan 14 diketahui bahwa saat Pembangkit Listrik Tenaga Angin mulai beroperasi dengan kecepatan angin 10 m/s kedua model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin membutuhkan waktu lebih dari 1 s untuk mendekati nilai tegangan 1 pu. Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron menunjukkan nilai *rise time* yang lebih baik yaitu 1,4 s dibandingkan Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron.

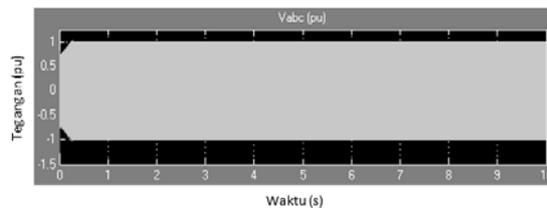
Pada saat terjadi perubahan kecepatan angin, kedua model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin memberikan respon yang berbeda. Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron menghasilkan tegangan yang mengikuti perubahan kecepatan angin, hal ini dikarenakan nilai

tegangan yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Angin tanpa kondensator sinkron, dipengaruhi langsung oleh besarnya torsi masukan generator induksi dari turbin angin. Sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron, tegangan yang dihasilkan masih mendekati 1 pu, dimana tegangan terkecilnya 0,962 pu dan terbesarnya 1,0135 pu, hal ini dikarenakan adanya kondensator sinkron yang memberikan daya reaktif secara otomatis yang besarnya disesuaikan dengan perubahan tegangan terhadap nilai rujukan yaitu 1 pu. Namun hasil ini masih bias diperbaiki karena osilasi dan penurunan saat perubahan melebihi 2%.

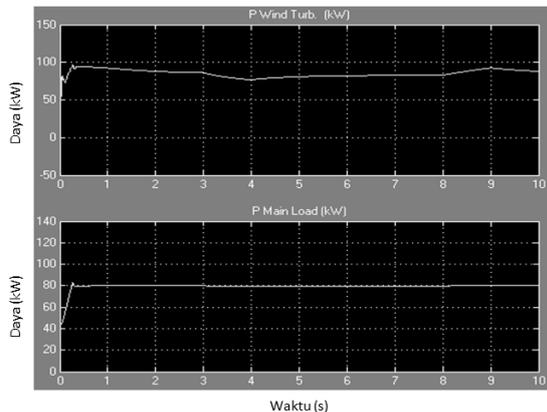
Perbandingan Performansi Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron Parameter Jurnal IEEE dan Parameter Hasil Optimasi

Tabel 6 menunjukkan bahwa saat Pembangkit Listrik Tenaga Angin mulai beroperasi dengan kecepatan angin 10 m/s model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan parameter sistem eksitasi kondensator sinkron dari jurnal IEEE membutuhkan waktu lebih dari 1 s untuk mendekati nilai tegangan 1 pu sedangkan model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan parameter sistem eksitasi kondensator sinkron dari hasil optimasi hanya membutuhkan waktu kurang dari 0,18 s. Dari parameter lain juga menunjukkan bahwa dengan model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan parameter model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan parameter sistem eksitasi kondensator sinkron dari hasil optimasi memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan parameter sistem eksitasi kondensator sinkron dari jurnal IEEE.

Pada saat terjadi perubahan kecepatan angin model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin memberikan respon yang berbeda-beda. Perbedaan respon dari model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dipengaruhi oleh kinerja sistem eksitasi kondensator sinkron yang menghasilkan daya reaktif. Besarnya nilai daya reaktif yang dihasilkan oleh kondensator sinkron secara otomatis disesuaikan dengan perubahan tegangan terhadap nilai rujukan yaitu 1 pu. Semakin cepat respon dari kondensator sinkron memberikan nilai daya reaktif yang sesuai agar tegangan tetap mendekati 1 pu, maka semakin baik performa dari kondensator sinkron tersebut. Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron berparameter sistem eksitasi kombinasi 3 yang memberikan respon keluaran tegangan yang baik dibandingkan dengan model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin yang lainnya.



Gambar 13. Tegangan terminal (V_{abc}) pada simulasi optimasi sistem eksitasi kondensator sinkron Pembangkit Listrik Tenaga Angin kombinasi parameter algen 3



Gambar 14. Daya generator turbin dan daya beban pada simulasi optimasi sistem eksitasi kondensator sinkron Pembangkit Listrik Tenaga Angin kombinasi parameter algen 3

Model ini lebih baik dengan nilai ITAE paling kecil (115,6604), waktu *steady state* terbaik (0,44s) dan *osilasi* serta penurunan tegangan saat perubahan kecepatan angin kurang dari 2% (rata-rata 0,2275%).

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisa yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron berparameter sistem eksitasi kombinasi algoritma genetika 3 (percobaan kedua kombinasi parameter algen dengan peluang pindah silang 0,6 dan peluang mutasi 0,032) yaitu $K_a = 297,2350$, $K_e = 0,6162$, $K_f = 0,01$, $T_a = 0,01$, $T_e = 0,01$, dan $T_f = 0,6278$ merupakan kombinasi parameter eksitasi terbaik yang diperoleh pada pengujian.

Model tersebut menunjukkan performansi yang lebih baik juga dari model sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kondensator sinkron berparameter sistem eksitasi dari contoh parameter sistem eksitasi IEEE 421.5 2005 ($K_a = 46$, $K_e = 1$, $K_f = 0,1$, $T_a = 0,06$, $T_e = 0,46$, dan $T_f = 1,0$). Analisa peromasi antara hasil optimasi dan sebelum optimas menunjukkan perbandingan nilai ITAE yaitu 115,6604 berbanding 840,2698, *rise time* yaitu 0,17 s berbanding 1,4 s, *over shoot* yaitu 1,54% berbanding 4%, *steady state* yaitu 0,44 s berbanding 2,5 s, tegangan terkecil setelah perubahan kecepatan

angin yaitu 0,9957 pu berbanding 0,962 pu dan tegangan terbesar setelah perubahan kecepatan angin yaitu 1,0025 pu berbanding 1,0135 pu.

Untuk pengembangan lebih lanjut diperlukan penelitian menggunakan menggunakan metode yang lain misalnya metode logika fuzzy atau dikembangkan lebih lanjut dengan sistem eksitasi tipe lain selain tipe DC1A. Atau pengembangan model Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan pengaturan frekuensi sistem dan besar beban yang berubah-ubah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cahyo, R. Dwi. Robandi, Imam. 2007. **Optimisasi Parameter Sistem Eksitasi IEEE Type ST2 Menggunakan Genetic Algorithm**. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2006 (SNATI 2006). Yogyakarta, 17 Juni.
2. Elivina, Winna. 2008. **Analisa Karakteristik Pengaturan VAR Pada Generator Induksi Berpenguat Sendiri Dengan Menggunakan Kondensor Sinkron**. Depok: Universitas Indonesia.
3. IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies, IEEE Standard 421.5-2005, 2006.
4. Kundur, Prabha. 1993. **Power System Stability and Control**. California: McGraw-Hill.
5. Mobarak, Youssef A. **A Simulink Multi-Band Power System Stabilizer**. Egypt : South Valley University.
6. Nasution, Nasir Andi Hakim. 2010. **Pengaruh Pembebanan Terhadap Regulasi Tegangan Dan Efisiensi Pada Generator Induksi Penguatan Sendiri Dengan Kompensasi Tegangan Menggunakan Kapasitor (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Ft-USU)**. Medan : Universitas Sumatera Utara.
7. Saadat, Hadi. 1999. **Power System Analysis**. Singapura : McGraw-Hill.
8. Suyanto. 2005. **Algoritma Genetika dalam MATLAB**. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
9. Wildi, Theodore. 1981. **Electrical Machines, Drives, And Power System, Third Edition**. USA: Prentice-Hall International, INC.
10. Yan, Chuan. 2011. **Hardware Implementation of an AIS-Based Optimal Excitation Controller for an Electric Ship**. IEEE Transactions On Industry Applications, Vol.47, No.2, March/April 2011.