

UJI KARAKTERISTIK TRANSFORMATOR ARUS BERBASIS PERANGKAT LUNAK EMTP

Ramadoni Syahputra

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Ringroad Barat, Tamantirto, Kasihan, Yogyakarta 55183
E-mail: ramadoni@umy.ac.id

ABSTRAK

Pemodelan transformator arus merupakan salah satu cara yang praktis untuk mengevaluasi unjuk kerja perlengkapan proteksi. Pada makalah ini disajikan penggunaan perangkat lunak Electromagnetic Transients Program (EMTP), The Output Processor (TOP), dan Mathcad® untuk memodelkan transformator arus (CT) untuk mendapatkan kurva yang menunjukkan karakteristik transformator arus. Disajikan juga pengaruh beban terhadap faktor koreksi rasio dan faktor koreksi sudut fasa transformator arus.

Dalam makalah ini transformator arus dimodelkan menggunakan EMTP untuk memvisualkan arus dan tegangan CT. Keluaran dari EMTP ditransfer ke dalam Mathcad melalui perangkat lunak TOP untuk menguji transformator arus terhadap keakuratan dan pengaruh bebannya. Model transformator arus yang dibahas adalah model CT 1200/5 kelas C800. Hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk uji karakteristik dengan metode 9 titik memberikan hasil yang terbaik untuk menampilkan karakteristik CT. Hasil simulasi uji eksitasi CT menunjukkan bahwa error rasio maksimum yang terjadi adalah 0,09%. Hasil simulasi ini mengindikasikan bahwa transformator arus ini dapat digunakan dalam aplikasi pengukuran.

Kata kunci: transformator arus, perlengkapan proteksi, model EMTP.

ABSTRACT

Modeling a current transformer is one practical way to evaluate the performance of equipment protection. This paper presented the use of software Electromagnetic transients Program (EMTP), The Output Processor (TOP), and Mathcad® to model a current transformer (CT) to get a curve showing the characteristics of the current transformer. The study also presented the influence of load on the ratio correction factor and phase angle correction factor of the current transformer.

In this paper the current transformer modeled using EMTP to visualize current and voltage CT. Output from EMTP transferred into Mathcad software through TOP for testing the accuracy of the current transformer and the influence of the load. The model discussed is the current transformer CT 1200/5 model of class C800. The simulation results show that for the test characteristics with a 9 point method gives the best result for the display characteristics of the CT. CT excitation test simulation results indicate that the ratio of the maximum error that occurred was 0.09%. The simulation results indicate that the current transformer can be used in measurement applications.

Keywords: current transformer, protection equipment, EMTP model.

PENDAHULUAN

Peralatan cadangan atau peralatan yang sudah menua sering kali digunakan dalam pembangunan instalasi baru sebuah sistem tenaga listrik. Perubahan kondisi dapat menyebabkan peralatan beroperasi di luar *rating* yang diharapkan [1]-[2]. Salah satu peralatan yang sering digunakan dalam proteksi dan pengukuran adalah transformator arus (CT) [3]. Untuk mengevaluasi kesesuaian peralatan secara efektif, harus ada alat (*tools*) yang dapat menentukan unjuk kerja CT dalam skema proteksi sistem tenaga listrik.

Beberapa penelitian tentang evaluasi transformator arus telah banyak dilakukan. Kezunovic dkk [4] melakukan penelitian tentang studi model digital transformator arus untuk analisis unjuk kerja transien rele proteksi. Evaluasi eksperimental dari model CT diimplementasikan menggunakan EMTP. Perbandingan uji laboratorium dengan simulasi untuk CT dengan rasio 600/5 dan 2000/5 menunjukkan bahwa model CT yang dikembangkan berdasarkan pada program EMTP memberikan hasil yang sangat memuaskan untuk sebagian besar kasus.

Chaudhary dkk [5] merepresentasikan elemen-elemen penting dalam proteksi sistem tenaga seperti transformator instrumen, rele, dan pemutus tenaga (CB). Representasi elemen-elemen itu dikembangkan dalam model EMTP. Model EMTP untuk transformator instrumen terdiri dari model transformator arus (CT) dan model transformator tegangan kapasitif (CVT). Hasilnya menunjukkan bahwa interaksi dinamik antara elemen proteksi sistem dengan peralatan sistem tenaga yang lain dapat dilakukan dalam program EMTP.

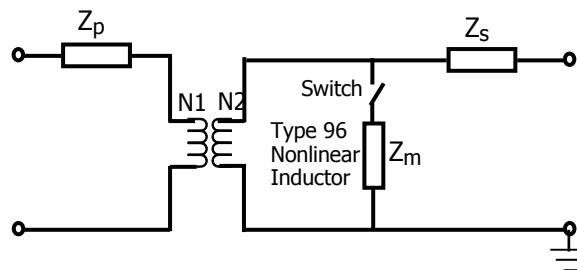
Penggunaan perangkat lunak dalam sistem tenaga listrik telah banyak membantu para akademisi maupun praktisi dalam bidang sistem tenaga listrik [6]-[7]. Aplikasi perangkat lunak telah mengakomodir penggunaan algoritma-algoritma cerdas dalam sistem tenaga listrik mulai dari penggunaan sistem berbasis logika fuzzy [8]-[12] hingga penggunaan algoritma particle swarm optimization (PSO) [13]-[14].

Salah satu perangkat lunak yang cukup populer dalam bidang sistem tenaga listrik adalah *Electromagnetic Transients Program* (EMTP). Perangkat lunak *Alternative Transients Program* (ATP) yang merupakan versi dari EMTP adalah alat yang mampu digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja transformator arus. Dalam makalah ini disajikan penggunaan perangkat lunak ATP, representasi model transformator arus menggunakan ATP, dan pengaruh beban pada faktor koreksi rasio dan faktor koreksi sudut fasa dari sebuah model transformator arus yang dihitung dalam Mathcad.

METODOLOGI DAN PROSEDUR SIMULASI

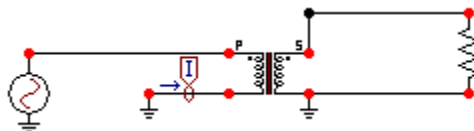
Representasi CT dalam EMTP

Dalam bagian ini diuraikan tentang pemodelan transformator arus menggunakan *ATP Saturable Transformer Component* seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Representasi model CT dalam EMTP

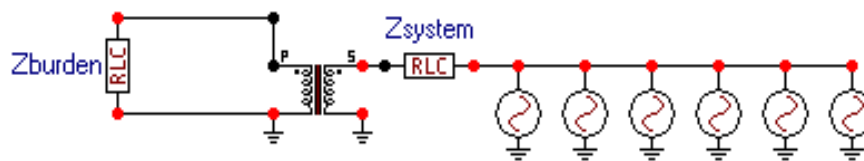
Untuk memodelkan transformator arus digunakan beberapa parameter CT diantaranya kelas akurasi, rasio, resistans belitan sekunder, dan kurva eksitasi. Beberapa pabrik pembuat CT memberikan kurva rasio dan kurva koreksi sudut fasa yang bermanfaat dalam pengujian model transformator arus. Guna mendapatkan karakteristik CT, dilakukan uji eksitasi guna mendapatkan grafik tegangan sebagai fungsi arus dari sebuah CT. Dalam makalah ini hanya dibahas CT dengan kelas C. Rangkaian uji eksitasi CT dalam ATPDraw ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian uji eksitasi CT dalam ATPDraw

Pengaruh beban pada faktor koreksi rasio dan faktor koreksi sudut fasa CT

Peningkatan beban CT dapat menaikkan tegangan sekunder yang diinduksikan dan memperbesar arus, sehingga menyebabkan terjadinya *error* sudut fasa dalam CT. Dalam bagian ini disajikan uji akurasi model CT 1200/5 kelas C800 dalam ATPDraw seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Enam sumber secara berurutan diterapkan untuk 5%, 10%, 20%, 60%, 100%, dan 150% dari arus dasar (*rated*). Masing-masing sumber bekerja untuk tiga siklus. Beban yang digunakan adalah beban standar bernilai $1,62 + j0,784$.

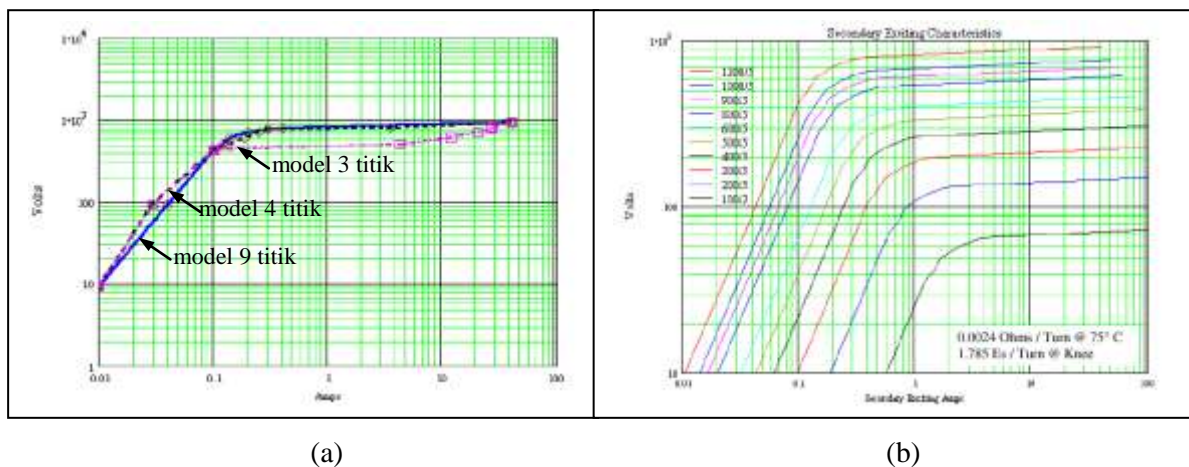


Gambar 3. Rangkaian uji akurasi CT dalam ATPDraw

HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Hasil uji eksitasi CT

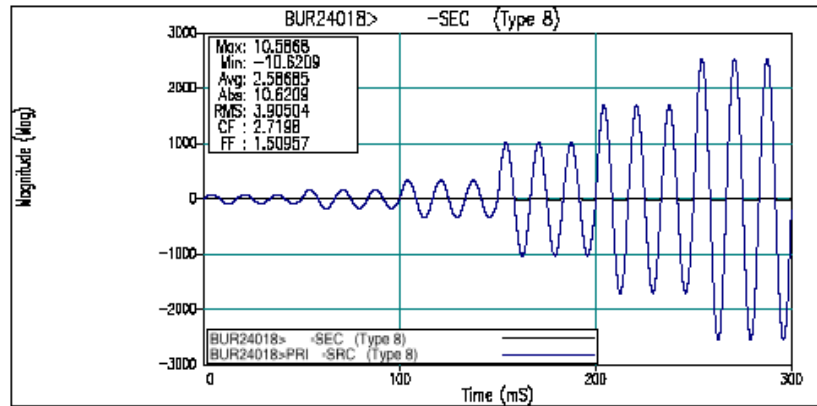
Hasil uji simulasi berupa grafik yang terdiri dari tiga buah kurva eksitasi untuk model CT 1200/5 kelas C800 ditunjukkan dalam Gambar 4(a). Ketiga kurva dalam grafik itu masing-masing menggunakan tiga, empat, dan sembilan titik untuk kejenuhan dari model CT. Kurva dengan sembilan titik memberikan hasil yang paling bagus, sehingga dapat digunakan untuk menguji karakteristik berbagai tipe CT seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4(b).



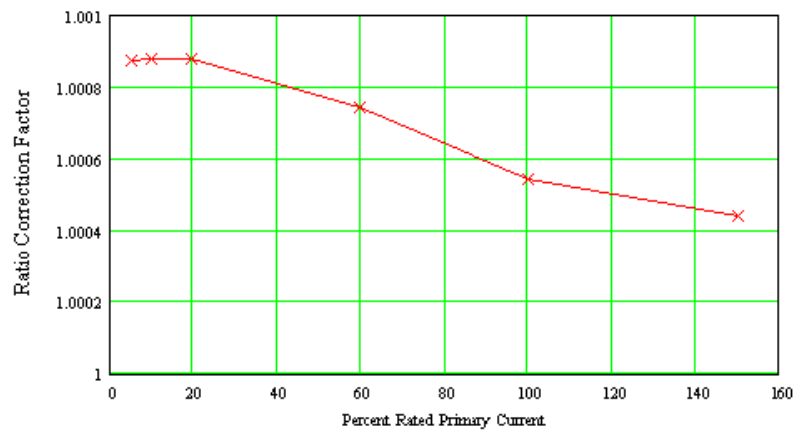
Gambar 4. Hasil uji eksitasi CT. (a) Perbandingan karakteristik sebuah model CT dengan jumlah titik eksitasi yang berbeda, (b) Karakteristik berbagai jenis CT.

Hasil uji akurasi CT

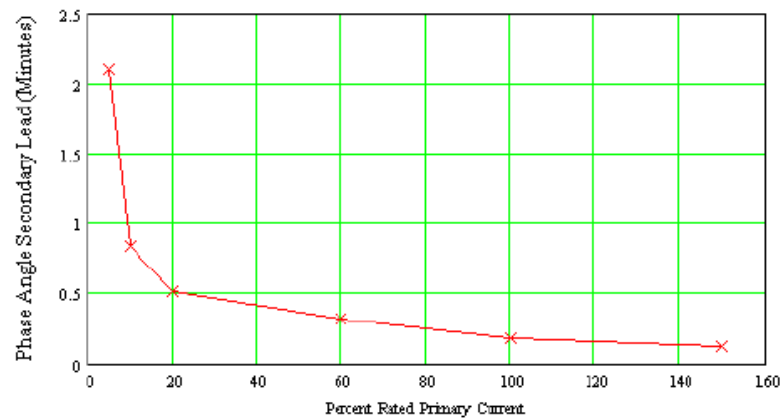
Gambar 5 menunjukkan keluaran ATP berupa arus primer dan arus sekunder yang ditampilkan dalam *The Output Processor* (TOP). Arus sekunder kelihatan sangat kecil karena skala sumbu vertikal didasarkan pada arus primer. Dapat dilihat juga bahwa terjadi enam tingkat peningkatan arus primer.



Gambar 5. Arus primer dan sekunder CT dalam TOP



Gambar 6. Grafik hasil perhitungan RCF transformator arus



Gambar 7. Grafik hasil perhitungan PACF transformator arus

Perhitungan faktor koreksi rasio (RCF) dan faktor koreksi sudut fasa (PACF) dapat dilakukan dengan meng-*input*-kan file pada jendela aktif TOP yang berisi arus primer dan sekunder seperti ditunjukkan pada Gambar 5 ke dalam Mathcad. Sebelumnya file tersebut harus disimpan dalam bentuk CSV agar bisa dibaca dalam Mathcad. Hasil perhitungan RCF dan PACF ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7. Berdasarkan Gambar 6 dapat

dilihat bahwa *error* rasio maksimum yang terjadi adalah 0,09%. Hal ini mengindikasikan bahwa transformator arus ini dapat digunakan dalam aplikasi pengukuran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan dapat disimpulkan:

1. ATP, TOP, dan Mathcad merupakan perangkat alat-alat (*tools*) simulasi yang baik untuk mengevaluasi unjuk kerja transformator arus.
2. Hasil simulasi untuk model CT 1200/5 kelas C800 menunjukkan bahwa *error* rasio maksimum yang terjadi adalah 0,09%, yang mengindikasikan CT ini dapat digunakan dalam aplikasi pengukuran.
3. Dengan diketahui unjuk kerjanya, maka dapat dievaluasi kelayakan transformator arus untuk digunakan dalam proteksi sistem tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

1. IEEE Team, "IEEE Standard Requirements for Instrument Transformers", IEEE Std C57.13-1993, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, 1993.
2. R. Syahputra, *Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik. LP3M UMY*, Yogyakarta, 2012.
3. Kang, Y.C., Park, J.K., Kang, S.H., Johns, A.T., and Anggarwal, R.K., 1997, "An Algorithm for Compensating Secondary Currents of Current Transformers", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 12, No. 1, pp 116 – 124.
4. Kezunovic, M., Kojovic, Lj., Fromen, C.W., Sevcik, D.R., and Phillips, F., 1994, "Experimental Evaluation of EMTP-Based Current Transformer Model for Protective Relay Transient Study", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 9, No. 1, pp 405-413.
5. Chaudhary, A.K.S., Tam, K.S., Phadke, A.G., 1994, "Protection System Representation In The Electromagnetic Transients Program", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 9, No. 2, pp. 700-711.
6. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, "Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT) Vol 6, No 3, pp. 39-56*, June 2014.
7. R. Syahputra, I. Robandi, M. Ashari, Modeling and Simulation of Wind Energy Conversion System in Distributed Generation Units, *3rd International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*, 2011, pp. 290-296.
8. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method, *Int. Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIMTR)*, May 21-22, 2012, Melacca, Malaysia.
9. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method. *IPTEK Journal of Proceedings Series*. 2014; 1(1): 224-229.
10. R. Syahputra, "Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG", *IJCSIT, Vol. 4, No. 2, pp. 57-68*, April 2012.
11. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, "Optimization of Distribution Network Configuration with Integration of Distributed Energy Resources Using Extended Fuzzy Multi-objective Method", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol.9, no.3, 2014. pp.629-639.

12. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, "Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources", *Proceeding of ICITACEE 2014*, Semarang, Indonesia, 2014.
13. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, "Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm", *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol.10, no.2, 2015. pp.293-304.
14. R. Syahputra, I. Robandi, and M. Ashari, "PSO Based Multi-objective Optimization for Reconfiguration of Radial Distribution Network", *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, vol.10, no.6, 2015. pp. 14573-14586.
15. Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). DFIG Control Scheme of Wind Power Using ANFIS Method in Electrical Power Grid System. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 11(7), pp. 5256-5262.
16. Soesanti, I., Syahputra, R. (2016). Batik Production Process Optimization Using Particle Swarm Optimization Method. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)*, 86(2), pp. 272-278.
17. Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). Design of Automatic Electric Batik Stove for Batik Industry. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)*, 87(1), pp. 167-175.
18. Syahputra, R. (2016). Application of Neuro-Fuzzy Method for Prediction of Vehicle Fuel Consumption. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT)*, 86(1), pp. 138-149.
19. Jamal, A., Suropto, S., Syahputra, R. (2016). Performance Evaluation of Wind Turbine with Doubly-Fed Induction Generator. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 11(7), pp. 4999-5004.
20. Syahputra, R., (2016), "Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
21. Syahputra, R., (2015), "Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
22. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
23. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. *TELKOMNIKA*, 13(3). pp. 759-766.
24. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). PSO Based Multi-objective Optimization for Reconfiguration of Radial Distribution Network. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 10(6), pp. 14573-14586.
25. Syahputra, R. (2015). Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif. *Jurnal Teknologi*, 8(2), pp. 161-168.
26. Syahputra, R. (2015). Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), pp. 11-15.
27. Syahputra, R., (2012), "Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
28. Jamal, A., Suropto, S., Syahputra, R. (2015). Multi-Band Power System Stabilizer Model for Power Flow Optimization in Order to Improve Power System Stability. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 80(1), pp. 116-123.
29. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). Optimization of Distribution Network Configuration with Integration of Distributed Energy Resources Using Extended Fuzzy Multi-objective Method. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 9(3), pp. 629-639.
30. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System. *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.
31. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2014), "Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method". *IPTEK Journal of Proceedings Series*. 2014; 1(1): pp. 224-229.

32. Jamal, A., Syahputra, R. (2014). Power Flow Control of Power Systems Using UPFC Based on Adaptive Neuro Fuzzy. *IPTEK Journal of Proceedings Series*. 2014; 1(1): pp. 218-223.
33. Syahputra, R., (2013), "A Neuro-Fuzzy Approach For the Fault Location Estimation of Unsynchronized Two-Terminal Transmission Lines", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 5, No. 1, pp. 23-37.
34. Jamal, A., Syahputra, R. (2013). UPFC Based on Adaptive Neuro-Fuzzy for Power Flow Control of Multimachine Power Systems. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 2(10), pp. 05-14.
35. Syahputra, R., (2012), "Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG", *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
36. Jamal, A., Syahputra, R. (2012), "Adaptive Neuro-Fuzzy Approach for the Power System Stabilizer Model in Multi-machine Power System", *International Journal of Electrical & Computer Sciences (IJECS)*, Vol. 12, No. 2, 2012.
37. Jamal, A., Syahputra, R. (2011), "Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif", *Semesta Teknika*, Vol. 14, No. 2, 2011, pp. 139-149.
38. Syahputra, R., (2010), "Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material", *Forum Teknik*, Vol. 33, 2010.
39. Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). "Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach", *Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE) 2015*, UNESA Surabaya, pp. 187-193.
40. Syahputra, R., (2015), "Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
41. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). "Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources", *Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014*, UNDIP Semarang, pp. 388 - 393.
42. Soedibyo, Ashari, M., Syahputra, R. (2014), Power loss reduction strategy of distribution network with distributed generator integration. *1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014*, UNDIP Semarang, pp. 404 – 408.
43. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), "Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2013; pp. 224-229.
44. Riyadi, S., Azra, R.A., Syahputra, R., Hariadi, T.K., (2014), "Deteksi Retak Permukaan Jalan Raya Berbasis Pengolahan Citra dengan Menggunakan Kombinasi Teknik Thresholding, Median Filter dan Morphological Closing", *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)2 2014*, UMS Surakarta, pp. 46-53.
45. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2012), "Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method", *International Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIMTR)*, May 21-22, 2012, Melacca, Malaysia.
46. Jamal, A., Syahputra, R., (2011), "Design of Power System Stabilizer Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Method". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2011; pp. 14-21.
47. Syahputra, R. (2010). Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines. *Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS)*, Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
48. Syahputra, R., (2014), "Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik", *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika* Vol. 17, No. 2, pp. 106-115, Nov 2014.
49. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2011), "Modeling and Simulation of Wind Energy Conversion System in Distributed Generation Units". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2011; pp. 290-296.
50. Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2011), "Control of Doubly-Fed Induction Generator in Distributed Generation Units Using Adaptive Neuro-Fuzzy Approach". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2011; pp. 493-501.

51. Jamal, A., Syahputra, R. (2016). Heat Exchanger Control Based on Artificial Intelligence Approach. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 11(16), pp. 9063-9069.
52. Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). Power System Stabilizer model based on Fuzzy-PSO for improving power system stability. *2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, Surabaya, 15-17 Oct. 2015 pp. 121 - 126.