

BUKU AJAR

PERLENGKAPAN SISTEM TENAGA



Oleh

Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2016

PRAKATA

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ajar berjudul “Perlengkapan Sistem Tenaga”. Buku ini dipersiapkan sebagai bahan ajar pada mata kuliah Perlengkapan Sistem Tenaga khususnya di Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Namun demikian buku ajar ini juga sangat relevan untuk mata kuliah lain dalam bidang sistem tenaga listrik. Dengan penulisan buku ajar ini diharapkan dapat membantu para pembaca khususnya mahasiswa jurusan Teknik Elektro untuk lebih mengenal dan memahami perlengkapan sistem tenaga listrik, fungsi, dan analisisnya.

Penyelesaian buku ajar ini tidak lepas dari beberapa pihak yang telah banyak membantu. Oleh karena itu bersama ini penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Prof. Dr. Bambang Cipto, MA., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
2. Hilman Latief, M.A., Ph.D., selaku Kepala LP3M UMY,
3. Jazaul Ikhsan, ST., MT., Ph.D., sebagai Dekan Fakultas Teknik UMY,
4. Ir. Agus Jamal, M.Eng., Ketua Jurusan Teknik Elektro, dan Rahmat Adiprasetya, ST., M.Eng., Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMY,
5. Seluruh dosen, karyawan, dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMY, yang telah banyak membantu dan memberikan masukan penulis dalam melaksanakan tugas yang diberikan kepada penulis,
6. Isteriku Dr. Indah Soesanti, S.T., M.T., yang telah banyak membantu dan memberikan masukan yang sangat berguna dalam penyelesaian diktat ini,
7. Ibunda dan ayahanda (alm) yang selalu mendoakan penulis,
8. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro FT UMY, dan
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa buku teks ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan lapang dada. Akhirnya, semoga buku teks ini dapat bermanfaat dalam proses belajar-mengajar di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Yogyakarta, Juli 2016
Penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
1. PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Komponen Sistem Tenaga Listrik	5
2. KARAKTERISTIK SISTEM TRANSMISI DAYA LISTRIK	9
2.1. Pendahuluan	9
2.2. Tegangan Saluran Transmisi	10
2.3. Komponen Utama Saluran Transmisi	11
2.4. Parameter Saluran Transmisi	13
3. REPRESENTASI SALURAN TRANSMISI	31
3.1. Pendahuluan	31
3.2. Klasifikasi Saluran Transmisi	33
3.3. Diagram Pengganti Saluran Transmisi	34
3.4. Rangkaian Kutub Empat	43
3.5. Saluran Transmisi sebagai Kutub Empat	44
3.6. Kompensasi pada Saluran Transmisi	48
4. SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK	60
4.1. Pendahuluan	60
4.2. Subtransmisi	62
4.3. Gardu Induk Distribusi	65
4.4. Sistem Distribusi Primer dan Sekunder	67
4.5. Transformator Distribusi	73
4.6. Karakteristik Elektrik dan Efisiensi Sistem Distribusi Daya Listrik	75
5. FUEL CELL	78
5.1. Pendahuluan	78
5.2. Produksi Hidrogen	80
5.3. Konsep Fuel Cell	82
5.4. Aplikasi Hidrogen	88
5.5. Penetrasi Pasar Hidrogen	93

6. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO	100
6.1. Pendahuluan	100
6.2. Sejarah dan Prinsip Kerja PLTMH	103
7. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA	108
7.1. Pendahuluan	108
7.2 Implementasi Solar Sel	115
8. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN	123
8.1. Pendahuluan	123
8.2. Konsep Dasar PLTB	124
8.3. Doubly-Fed Induction Generator	129
8.4. Simulasi PLTB	131
9. RUGI-RUGI DALAM SISTEM DISTRIBUSI DAN USAHA PENGENDALIANNYA	139
9.1. Pendahuluan	139
9.2. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi	140
9.3. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi dengan Integrasi DG Menggunakan Metode Fuzzy-Multiobjektif	141
DAFTAR PUSTAKA	153
GLOSARIUM	155

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kundur, P. (1993), "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc, New York.
- [2] Robandi, I. (2006), "Desain Sistem Tenaga Modern", Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- [3] Steventon, W.D. (1982), "Element of Power system Analysis", MCGraw-Hill International Book Company, New York.
- [4] Anderson, Fouad, (2003), "Power System Control and Stability", IEEE Press.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. *TELKOMNIKA*, 13(3). pp. 759-766.
- [12] 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.
- [13] Syahputra, R. (2015). Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif. *Jurnal Teknologi*, 8(2), pp. 161-168.
- [14] Syahputra, R. (2015). Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), pp. 11-15.
- [15] Syahputra, R., (2012), "Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.

- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] Jamal, A., Syahputra, R. (2011), "Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif", *Semesta Teknik*, Vol. 14, No. 2, 2011, pp. 139-149.
- [26] Utomo, A.T., Syahputra, R., Iswanto, (2011), "Implementasi Mikrokontroler Sebagai Pengukur Suhu Delapan Ruangan", *Jurnal Teknologi*, 4(2).
- [27] Syahputra, R., (2010), "Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material", *Forum Teknik*, Vol. 33, 2010.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.

- [35] 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.
- [36] Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [37] Syahputra, R., (2014), “Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik”, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 17, No. 2, pp. 106-115, Nov 2014.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] Syahputra, R., (2016), “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [41] Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.