

**DIKTAT KULIAH**

**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 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, Oktober 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

## 1.1 PENDAHULUAN

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain yang jaraknya berjauhan dalam suatu sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik merupakan kumpulan dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban, yang dihubungkan dan membentuk suatu sistem.

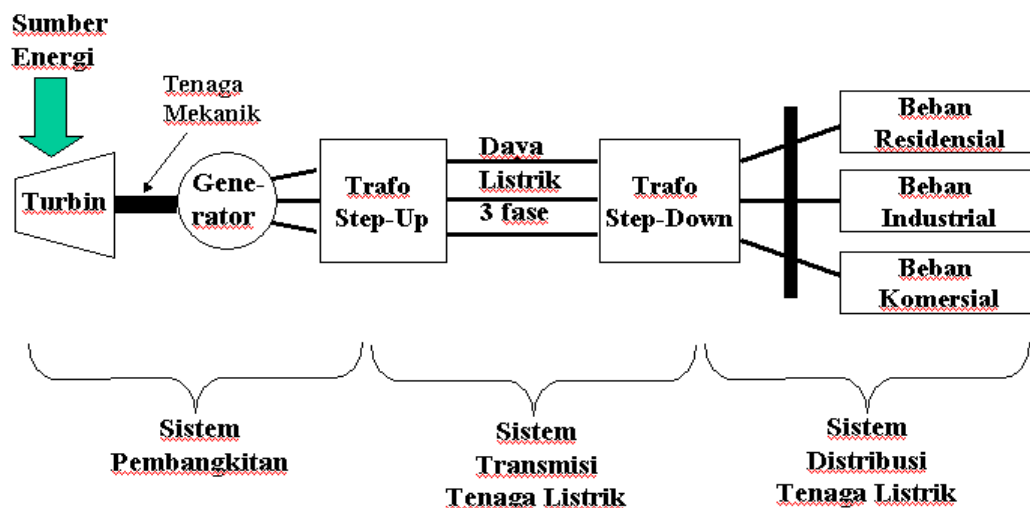
Industri tenaga listrik telah dimulai sejak tahun 1882 ketika pusat pembangkit daya listrik pertama yang bernama Pearl Street Electric Station mulai beroperasi di kota New York, Amerika Serikat. Selanjutnya industri tenaga listrik sangat pesat perkembangannya, dan stasiun-stasiun pembangkitan dan jaringan transmisi dan distribusi telah bermunculan di berbagai negara.

Energi listrik merupakan energi yang sangat bermanfaat. Tidak dapat dipungkiri lagi bahwa manusia dewasa ini sudah demikian besar tingkat ketergantungannya terhadap energi listrik. Sehingga energi listrik bagi kebutuhan hidup manusia dewasa ini sudah hampir "setara" dengan oksigen. Bahkan ukuran kemajuan suatu negara dapat diukur dari tingkat konsumsi energi listriknya. Sebagai contoh Amerika Serikat yang merupakan negara sebagai negara yang sangat maju pada tahun 2000 mempunyai kapasitas terpasang pembangkit listrik total sekitar 1200 GW atau  $1,2 \times 10^{12}$  Watt. Dapat dibandingkan dengan negara kita tercinta, Indonesia, yang masih merupakan negara berkembang pada akhir tahun 2004 untuk sistem Jawa-Bali mempunyai kapasitas terpasang pembangkit listrik sekitar 20 GW. Konsumen listrik di Indonesia sebagian besar berada di Jawa-Bali, sehingga sebagian besar pembangkit listriknya terpusat di pulau Jawa dan Bali.

## 1.2 KOMPONEN SISTEM TENAGA LISTRIK

Secara umum definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi, yang secara garis besar ditunjukkan pada gambar 1.1. Belakangan ini sistem distribusi jika dilihat dari skala nasional, diperkirakan sama dengan biaya investasi fasilitas pembangkitan. Sistem distribusi bersama-sama dengan sistem pembangkitan berdasarkan pengalaman biasanya menelan biaya investasi hingga 80% dari total investasi yang dikeluarkan untuk sistem tenaga listrik.

Siklus aliran energi listrik pada sistem tenaga listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada pusat pembangkit, sumber daya energi primer seperti bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batubara), hidro, panas bumi, dan nuklir diubah menjadi energi listrik. Generator sinkron mengubah energi mekanis yang dihasilkan pada poros turbin menjadi energi listrik tiga fasa. Melalui transformator *step-up*, energi listrik ini kemudian dikirimkan melalui saluran transmisi bertegangan tinggi menuju pusat-pusat beban.



Gambar 1.1. Komponen utama sistem tenaga listrik.

Peningkatan tegangan dimaksudkan untuk mengurangi jumlah arus yang mengalir pada saluran transmisi. Dengan demikian saluran transmisi bertegangan tinggi akan

membawa aliran arus yang rendah dan berarti mengurangi rugi panas (*heat loss*)  $I^2R$  yang menyertainya. Ketika saluran transmisi mencapai pusat beban, tegangan tersebut kembali diturunkan menjadi tegangan menengah melalui transformator *step-down*.

Di pusat-pusat beban yang terhubung dengan saluran distribusi, energi listrik ini diubah menjadi bentuk-bentuk energi terpakai lainnya seperti energi mekanis (motor), penerangan, pemanas, pendingin, dan sebagainya.

### **Latihan:**

1. Gambarkan dan jelaskan komponen pokok sistem tenaga listrik serta jelaskan fungsinya masing-masing.
2. Jelaskan arti penting energi listrik bagi umat manusia dewasa ini.
3. Kemajuan suatu negara dapat diukur dari tingkat konsumsi energi listriknya. Analisislah apakah pernyataan tersebut dapat diterima. Buktikan dengan data-data tentang konsumsi energi listrik berbagai negara, baik negara maju maupun negara berkembang. Data-data dapat didapatkan dari berbagai sumber misalnya jurnal ilmiah, majalah, atau internet.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IEEE, 2000, IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines, IEEE, New York.
- [2] Ram, B., Vishwakarma, 1995, *Power System Protection and Switchgear*, McGraw-Hill, New Delhi.
- [3] Syahputra, R., Soesanti, I., Ashari, M. (2016). Performance Enhancement of Distribution Network with DG Integration Using Modified PSO Algorithm. *Journal of Electrical Systems (JES)*, 12(1), pp. 1-19.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. *TELKOMNIKA*, 13(3). pp. 759-766.
- [11] 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.
- [12] Syahputra, R. (2015). Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif. *Jurnal Teknologi*, 8(2), pp. 161-168.
- [13] Syahputra, R. (2015). Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), pp. 11-15.
- [14] Syahputra, R., (2012), "Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.



- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Jamal, A., Syahputra, R. (2011), "Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif", Semesta Teknik, Vol. 14, No. 2, 2011, pp. 139-149.
- [25] Utomo, A.T., Syahputra, R., Iswanto, (2011), "Implementasi Mikrokontroler Sebagai Pengukur Suhu Delapan Ruangan", Jurnal Teknologi, 4(2).
- [26] Syahputra, R., (2010), "Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material", Forum Teknik, Vol. 33, 2010.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.

- [34] 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.
- [35] Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Syahputra, R., (2016), “Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [40] Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). Power System Stabilizer Model Using Artificial Immune System for Power System Controlling. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 11(18), pp. 9269-9278.
- [44] Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). Application of Green Energy for Batik Production Process. Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT), 91(2), pp. 249-256.
- [45] Syahputra, R. (2016). Strategi Peningkatan Efisiensi Jaringan Distribusi dengan Integrasi Pembangkit Tersebar Energi Terbarukan Berbasis Algoritma Cerdas. KEMENRISTEKDIKTI.
- [46] Syahputra, R. (2016). Rekayasa dan Pengkondisian Energi Terbarukan, UMY.