

**BUKU AJAR
TRANSMISI DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

Penulis : Dr. Ramadoni Syahputra
Editor : Dr. Indah Soesanti
@2016 LP3M UMY Yogyakarta



Penerbit LP3M UMY



Buku Ajar TRANSMISI DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

DR. RAMADONI SYAHPUTRA

Buku Ajar

TRANSMISI DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK



DR. RAMADONI SYAHPUTRA



Penerbit LP3M UMY

BUKU AJAR

**TRANSMISI DAN DISTRIBUSI
TENAGA LISTRIK**

DR. RAMADONI SYAHPUTRA



Penerbit LP3M UMY

ISBN 978-602-7577-56-5



BUKU AJAR TRANSMISI DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Penulis : Dr. Ramadoni Syahputra
Editor : Dr. Indah Soesanti
@2016 LP3M UMY Yogyakarta

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Diterbitkan pertama kali oleh
Penerbit LP3M UMY Yogyakarta
Maret 2016

ISBN 978-602-7577-56-5



Anggota IKAPI

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

Pasal 72:

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Dicetak oleh Percetakan CV Kaliwangi

PRAKATA

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan naskah buku berjudul “Buku Ajar Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”. Dengan penulisan buku ajar ini diharapkan dapat membantu para pembaca khususnya mahasiswa Jurusan Teknik Elektro untuk lebih mengenal dan memahami konsep sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Buku ajar ini dapat digunakan oleh mahasiswa dan dosen khususnya Program Studi Teknik Elektro konsentrasi Sistem Tenaga Listrik sebagai acuan utama untuk mata kuliah Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik. Buku ajar ini dapat juga digunakan sebagai acuan tambahan untuk mata-mata kuliah yang berhubungan dengan sistem tenaga listrik seperti Pengantar Sistem Tenaga Listrik, Perlengkapan Sistem Tenaga Listrik, Proteksi Sistem Tenaga Listrik, Dinamika Sistem Tenaga Listrik, dan lain-lain.

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., sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
2. Hilman Latief, M.A., Ph.D, sebagai Kepala LP3M UMY,
3. Jazaul Ikhsan, ST., MT., Ph.D., sebagai Dekan Fakultas Teknik UMY,
4. Ir. Agus Jamal, M.Eng., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMY,
5. Budi Nugroho, S.Sos., selaku Kepala Divisi Penerbitan LP3M UMY yang telah banyak membantu sehingga ISBN buku ini dapat diperoleh,
6. Seluruh dosen, karyawan, dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMY, yang telah banyak membantu dan memberikan masukan kepada penulis dan dalam mengemban tugas-tugas yang diamanahkan kepada penulis,

7. Isteriku tercinta Dr. Indah Soesanti, S.T., M.T., yang telah banyak membantu dan memberikan masukan yang sangat berguna dalam penyelesaian buku ajar ini,
8. Ibunda yang selalu mendoakan penulis dan ayahanda (alm), dan
9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga semuanya tercatat sebagai amal shalih yang mendapatkan balasan di dunia dan akhirat.

Penulis menyadari bahwa buku ajar ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan penulis terima dengan lapang dada. Akhirnya, semoga buku ajar ini dapat bermanfaat dalam proses pembelajaran khususnya di Program Studi Teknik Elektro pada konsentrasi Sistem Tenaga Listrik.

Yogyakarta, Maret 2016

Penulis,

Dr. Ramadoni Syahputra

DAFTAR ISI

PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Komponen Sistem Tenaga Listrik	8
2. PENGANTAR SISTEM TRANSMISI TENAGA LISTRIK	13
2.1. Pendahuluan	13
2.2. Klasifikasi Saluran Transmisi	15
2.3. Tegangan Saluran Transmisi	16
2.4. Komponen Utama Saluran Transmisi	18
2.4.1. Menara Transmisi	18
2.4.2. Isolator	18
2.4.3. Kawat Penghantar	19
2.4.4. Kawat Tanah	20
3. KARAKTERISTIK ELEKTRIK SALURAN TRANSMISI	21
3.1. Resistansi	22
3.2. Induktansi Dan Reaktansi Induktif Rangkaian	
Fase Tunggal	26
3.2.1. Fluks Magnetik pada Suatu Kawat	
Penghantar Panjang	26
3.2.2. Fluks Lingkup pada Posisi Kawat Balik	
Berdekatan	28
3.2.3.1 Induktansi Diri	31
3.2.3.2 Penggunaan Tabel untuk Konstanta	
Saluran	34
3.3. Geometric Mean Radius (GMR) dan	
Geometric Mean Distance (GMD)	35
3.3.1. Geometric Mean Radius (GMR)	35

3.3.2. Geometric Mean Distance (GMD).....	36
3.4. Kapasitansi Dan Reaktansi Kapasitif Rangkaian	
Fase Tunggal	37
3.4.1. Kapasitansi	38
3.4.2. Reaktansi Kapasitif	40
4. REPRESENTASI SALURAN TRANSMISI.....	43
4.1. Pendahuluan	43
4.2. Klasifikasi Saluran Transmisi	46
4.2.1. Klasifikasi Saluran Transmisi untuk Keperluan Diagram Pengganti	46
4.2.2. Klasifikasi Saluran Transmisi Menurut Tegangan Kerja	47
4.2.3. Klasifikasi Saluran Transmisi Berdasarkan Fungsinya dalam Operasi	48
4.3. Diagram Pengganti Saluran Transmisi	48
4.3.1. Saluran Transmisi Jarak Pendek	48
4.3.2. Saluran Transmisi Jarak Menengah	50
4.3.2.1. Nominal T	50
4.3.2.2. Nominal π	51
4.3.3 Saluran Transmisi Jarak Panjang	56
5. KONSTANTA-KONSTANTA UMUM SALURAN TRANSMISI	61
5.1. Rangkaian Kutub Empat	61
5.2. Saluran Transmisi Sebagai Kutub Empat.....	63
5.2.1. Saluran Transmisi Jarak Pendek	63
5.2.2. Saluran Transmisi Jarak Menengah	64
5.2.2.1 Nominal T	64
5.2.2.2 Nominal π	65
5.2.3. Saluran Transmisi Jarak Panjang.....	67
6. KOMPENSASI PADA SALURAN TRANSMISI	69
6.1. Pendahuluan	69

6.2. Kompensasi Dengan Reaktor Shunt.....	73
6.3. Kompensasi Dengan Kapasitor Seri.....	80
7. SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK	83
7.1. Pendahuluan	83
7.2. Subtransmisi	86
7.3. Gardu Induk Distribusi	89
8. SISTEM DISTRIBUSI PRIMER DAN SEKUNDER	95
8.1. Sistem Distribusi Primer	95
8.2. Sistem Distribusi Sekunder	100
8.3. Transformator Distribusi	103
8.3.1. Konstruksi Transformator Distribusi.....	103
8.3.2. Jenis Transformator	107
9. RUGI-RUGI DALAM SISTEM DISTRIBUSI DAN USAHA MEMINIMALKANNYA	111
9.1. Pendahuluan	111
9.2. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi.....	112
9.3. Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Fuzzy-Multiobjective	115
10. TOPOLOGI JARINGAN DISTRIBUSI	129
10.1. Sistem Jaringan Distribusi Radial	130
10.2. Sistem Jaringan Distribusi Loop	132
10.3. Sistem Jaringan Distribusi Spindel	132
10.4. Hubung Singkat	135
10.5. Dampak Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi	137
DAFTAR PUSTAKA	141
GLOSARIUM	143

« halaman ini sengaja dikosongkan »

NOMENKLATUR

Q_{DG}	Daya reaktif DG
P_{loss}	Fungsi objektif kerugian daya aktif
i	Jumlah cabang jaring distribusi
j	Jumlah bus jaring distribusi
P_j	Daya aktif yang melalui bus ke- j
Q_j	Daya aktif yang melalui bus ke- j
n_b	Jumlah cabang
R_j	Resistansi pada bus ke- j
V_j	Magnitudo tegangan pada bus ke- j
$V_{j,min}$	Magnitudo tegangan terendah pada bus ke- j
$V_{j,max}$	Magnitudo tegangan tertinggi pada bus ke- j
$I_{j,min}$	Batas magnitudo arus terendah pada bus ke- j
$I_{j,max}$	Batas magnitudo arus tertinggi pada bus ke- j
P_{loss}	Kerugian daya aktif
P_j	Kerugian daya aktif yang keluar dari bus j
Q_j	Kerugian daya reaktif yang keluar dari bus j
R_i	Resistansi pada bus j
V_j	Magnitudo tegangan pada bus j
N_i	Jumlah total cabang pada saat <i>switches</i> ke- i ditutup
$P_{loss,i}$	Total kerugian daya aktif ketika cabang ke- i dibuka
$P_{loss,B}$	Total kerugian daya aktif pra rekonfigurasi
N_B	Total jumlah bus dari sistem distribusi
V_s	Tegangan Gardu Induk, dalam p.u
V_j	Tegangan bus, dalam p.u.
$ I_{i,m} $	Magnitudo tegangan arus saat cabang- m urutan ke- i dibuka
$I_{c,m}$	Kapasitas saluran cabang - m .
V_k	Tegangan bus pada iterasi ke- k
Y_{jk}	Admitansi bus pada iterasi ke- k

« halaman ini sengaja dikosongkan »

BAB I

PENGANTAR PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Tujuan Instruksional Umum:

Memberikan wawasan dan tinjauan analitis mengenai transmisi dan distribusi tenaga listrik disertai perkembangan dan teknologinya dalam sistem tenaga listrik.

Tujuan Instruksional Khusus:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengantar sistem tenaga listrik.
2. Memberikan pengetahuan tentang kondisi kelistrikan nasional.
3. Memberikan pengetahuan tentang komponen sistem tenaga listrik.
4. Memberikan pengetahuan tentang dasar analisis sistem tenaga listrik.

1.1 PENDAHULUAN

Berdasarkan data statistik PT PLN (Persero) tahun 2013, pencapaian rasio elektrifikasi seluruh Indonesia baru mencapai 78,06 % pada tahun 2013. Rasio ini Dengan pertumbuhan jumlah pelanggan rumah tangga dari 46.219.780 pelanggan pada akhir tahun 2012 menjadi 50.116.127 pelanggan pada akhir tahun 2013. Selanjutnya pada akhir Desember 2013, total kapasitas terpasang dan jumlah unit pembangkit PLN mencapai 34.206 MW dan 4.925 unit, dengan

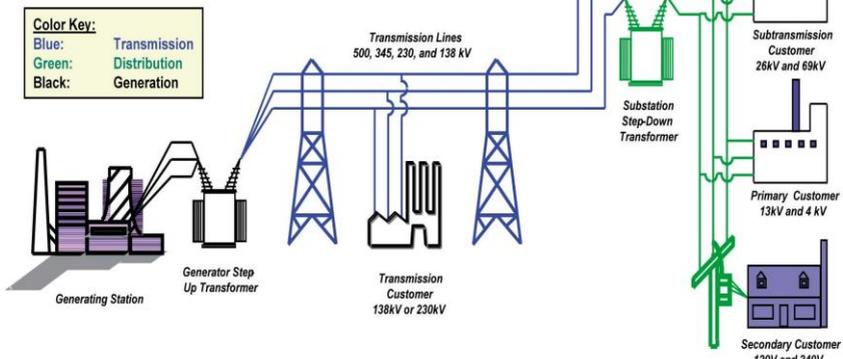
26.768 MW (78,26%) berada di Jawa. Total kapasitas terpasang meningkat 3,96% dibandingkan dengan akhir Desember 2012. Prosentase kapasitas terpasang per jenis pembangkit sebagai berikut : PLTU 15.554 MW (45,47%), PLTGU 8.814 MW (25,77%), PLTD 2.848 MW (8,33%), PLTA 3.520 MW (10,29%), PLTG 2.894 MW (8,46%), PLTP 568 MW (1,67%), PLT Surya dan PLT Bayu 8,37 MW (0,02%). Beban puncak pada tahun 2013 mencapai 30.834 MW, meningkat 6,76% dibandingkan tahun sebelumnya. Beban puncak sistem interkoneksi Jawa - Bali mencapai 22.575 MW, atau naik 6,30% dari tahun sebelumnya.

Teknologi pengembangan dan pemanfaatan energi telah memegang peranan penting dalam aspek sosial dan ekonomi baik skala kecil hingga besar, dari skala rumah tangga hingga taraf nasional dan internasional. Akan tetapi persoalan energi tidak berdiri sendiri, karena selalu terkait dengan persoalan lingkungan dan dampak ikutannya. Hingga saat ini negara-negara di dunia masih tergantung kepada bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik, terutama bahan bakar minyak dan batubara. Selain persoalan lingkungan yang diakibatkan pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil ini, juga masalah ketersediaannya. Bahan bakar fosil merupakan jenis sumber energi yang tak-terbarukan (*non-renewable energy*), sehingga lambat laun persediaan semakin menipis dan berakibat pada kecenderungan harga yang semakin tinggi. Karena persoalan energi dengan bahan bakar fosil semakin lama menimbulkan persoalan yang menyulitkan, maka para ahli dari berbagai Negara telah melakukan terobosan-terobosan baru dengan menggiatkan pengelolaan sumber energi

terbarukan untuk membangkitkan energi listrik, di antaranya energi air, angin, surya, ombak laut, biomassa, dan lain-lain.

Pada awal perkembangannya, teknologi energi listrik dari sumber energi terbarukan masih bersifat parsial. Baik energi air, angin, surya, ombak laut, biomassa, dan lain-lain masih dirancang untuk menghasilkan listrik guna mengatasi persoalan kekurangan listrik pada daerah tertentu saja. Kapasitas pembangkitan energi listriknya juga bervariasi dari ukuran kecil berukuran beberapa puluh watt hingga berukuran sedang, yaitu hingga mega watt. Akan tetapi, perkembangan selanjutnya sejak awal abad ke-21 ini telah dilakukan berbagai upaya melalui penelitian-penelitian yang komprehensif tentang bagaimana mengintegrasikan pembangkit-pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan listrik yang sudah ada (*interconnection system*). Integrasi pembangkit-pembangkit listrik energi terbarukan dengan jaringan listrik terinterkoneksi inilah yang dikenal dengan istilah pembangkitan terdistribusi (*distributed generation, DG*). Gambar 1.1 menunjukkan struktur dasar sistem tenaga listrik.

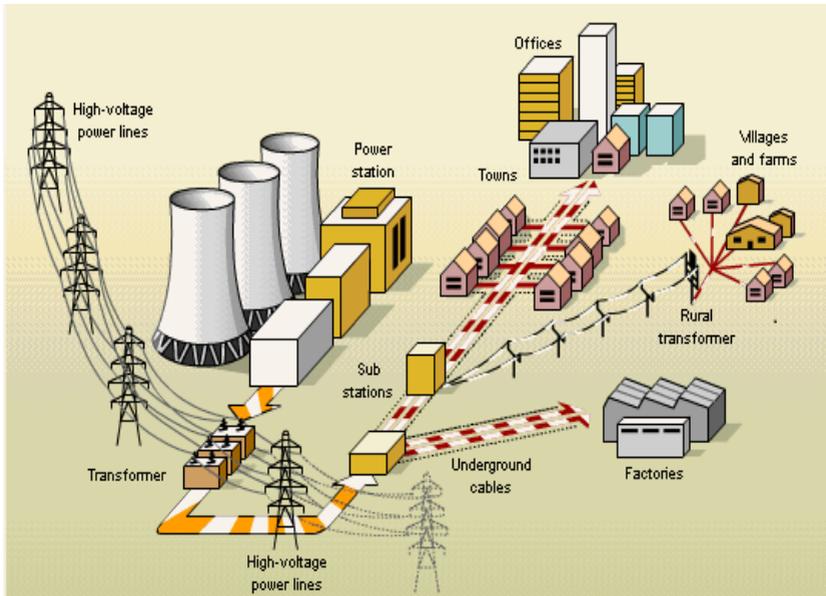
Basic Structure of the Electric System



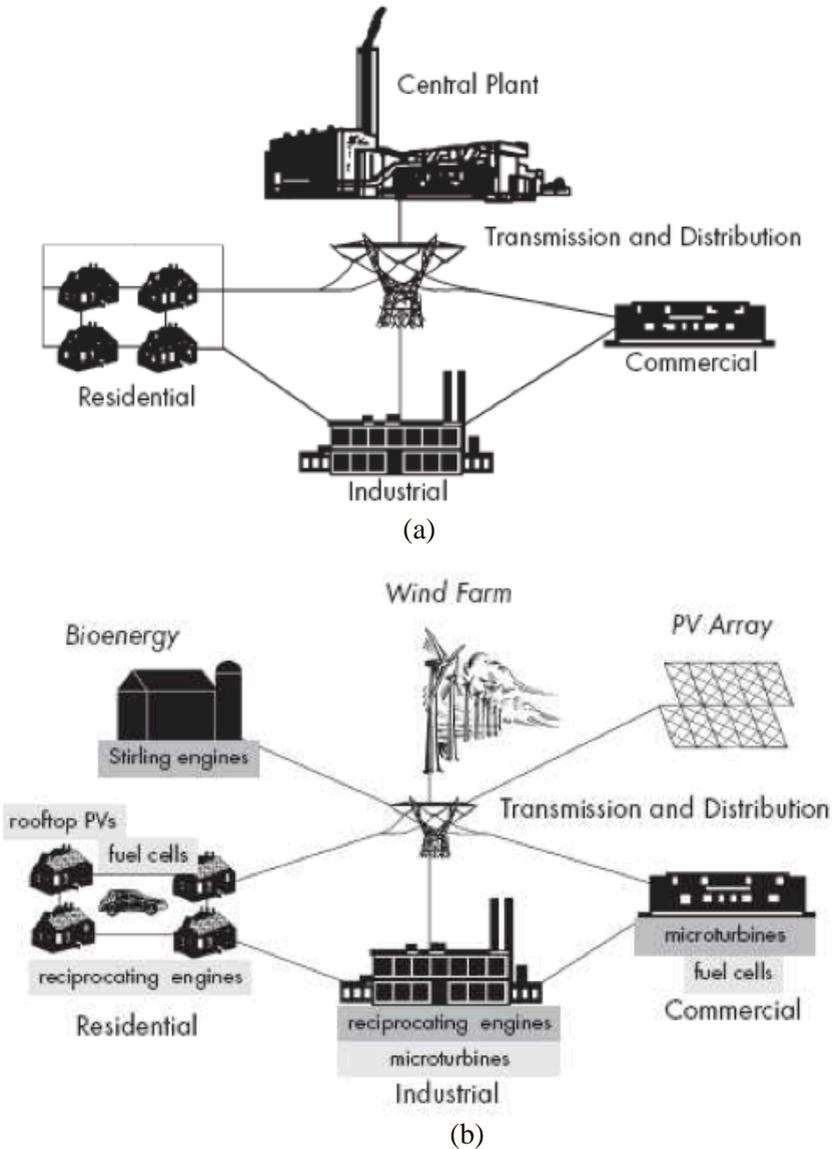
Gambar 1.1 Struktur dasar sistem tenaga listrik

Dewasa ini DG telah menjadi bagian penting dalam sistem tenaga listrik. Selama ini pembangkit-pembangkit listrik skala besar yang berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), dan lain-lain, berlokasi di suatu tempat tertentu yang sering disebut dengan pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*). Dengan demikian kehadiran DG memberikan kontribusi penting dalam rangka membantu pemerintah menyediakan energi listrik bagi masyarakat. Istilah *distributed generation* sejatinya bukan sesuatu yang baru, karena sistem interkoneksi jaringan listrik saat ini pada dasarnya adalah sistem yang merupakan *distributed generation*. Akan tetapi istilah *distributed generation* baru muncul belakangan ini karena lebih ditekankan kepada pembangkit listrik yang berkapasitas relative lebih kecil yang umumnya berasal dari sumber energi terbarukan untuk

diinterkoneksi dengan jaringan listrik yang sudah ada dimana selama ini dipasok oleh pembangkit listrik berkapasitas besar. Gambar 1.2 menunjukkan DG menjadi bagian penting dalam sistem tenaga listrik, sedangkan Gambar 1.3 menunjukkan konsep pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*) dan pembangkit listrik tersebar (*distributed generation*).



Gambar 1.2 DG menjadi bagian penting dalam sistem tenaga listrik



Gambar 1.3 (a) Konsep pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*) dan (b) Konsep pembangkit listrik tersebar (*distributed generation*)

Upaya mengintegrasikan berbagai pembangkit energi terbarukan ke dalam jaringan interkoneksi bukanlah persoalan yang sederhana. Sebagai contoh adalah pembangkit listrik tenaga surya (*solar cell*). Energi listrik yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga surya adalah dalam bentuk arus searah (*direct current*, dc). Tegangan listrik dc yang dihasilkan juga bervariasi, selain tergantung kepada banyaknya sel surya yang dipasang, juga tergantung pada intensitas cahaya matahari yang menerpanya. Pertama-tama tegangan listrik dc yang dihasilkan sel surya harus dinaikkan tegangannya menggunakan konverter dc, karena aras tegangan jaringan listrik interkoneksi umumnya jauh lebih tinggi. Selanjutnya tegangan dc yang sudah ditinggikan tersebut diubah menjadi tegangan listrik bolak-balik pada frekuensi yang sama dengan frekuensi sistem (50 atau 60 Hz), menggunakan inverter. Demikian juga untuk jenis pembangkit listrik lain yang memiliki keunikan tersendiri, misalnya pembangkit listrik tenaga angin yang menghasilkan putaran turbin yang sangat bervariasi dari waktu ke waktu dalam sehari, karena kecepatan angin yang berubah-ubah. Untuk keperluan ini maka dibutuhkan sistem pengendalian yang andal agar putaran turbin angin yang rendah dan berubah-ubah dapat memutar generator dengan putaran yang tinggi dan stabil. Persoalan-persoalan seperti inilah yang penulis anggap menarik untuk diangkat dan dibahas di dalam buku ini, dan tentu saja bagaimana cara menanggulangnya berdasarkan hasil-hasil penelitian dari para pakar di dunia yang hasil-hasil penelitiannya dapat dibaca pada jurnal-jurnal internasional bereputasi tinggi.

1.2 KOMPONEN SISTEM TENAGA LISTRIK

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinyu 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 dihubung-hubungkan dan membentuk suatu sistem.

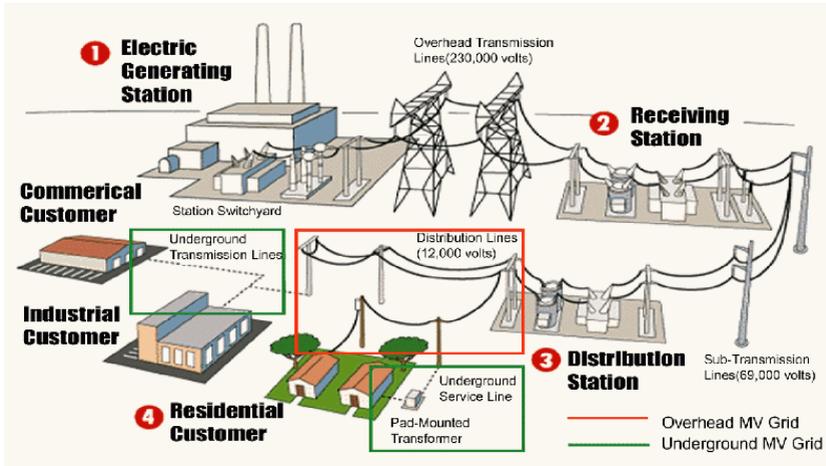
Industri tenaga listrik telah dimulai sejak tahun 1882 ketika pusat pembangkit daya listrik pertama yang bernama Pearl Street Elestric Station mulai beroperasi di kota New York, Amerika Serikat. Selanjutnya industri tenaga listrik sangat pesat perkembangannya, dan stasiun-stasiun pembangkitan dan jaringan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

Secara umum, definisi sistem tenaga listrik meliputi sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi, yang secara garis besar ditunjukkan pada gambar 1.4. 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 1.4. 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.

Energi listrik merupakan bentuk energi yang sangat bermanfaat. Kemajuan suatu negara dapat diukur berdasarkan konsumsi energi listrik pada negara tersebut. Energi listrik merupakan bentuk energi yang “menyenangkan”, karena dapat dengan mudah

disalurkan serta dikonversikan ke berbagai bentuk energi lain.

Energi listrik dibangkitkan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), dan lain-lain. Pusat-pusat pembangkit listrik tersebut umumnya jauh dari daerah-daerah dimana energi listrik itu digunakan, yang disebut sebagai pusat-pusat beban (*load centres*). Oleh karena itu energi listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui suatu saluran transmisi. Karena tegangan yang dihasilkan generator umumnya relatif rendah (berkisar 6 kV hingga 24 kV), maka tegangan ini biasanya dinaikkan dengan bantuan transformator daya ke tingkat tegangan yang lebih tinggi antara 30 kV sampai 500 kV (di beberapa negara maju bahkan sudah sampai 1000 kV).

Tingkat tegangan yang lebih tinggi ini selain untuk memperbesar daya hantar saluran yang berbanding lurus dengan kuadrat tegangan, juga untuk memperkecil rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran. Dengan mempertinggi tegangan, maka timbul suatu persoalan lain yaitu tingkat isolasi yang harus lebih tinggi, dengan demikian biaya peralatan juga semakin tinggi.

Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertamanya dilakukan di gardu induk (GI), dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah misalnya dari 500 kV ke 150 kV, atau dari 150 kV ke 70 kV, dan sebagainya. Kemudian penurunan kedua dilakukan di gardu induk distribusi dari 150 kV ke 20 kV atau dari 70 kV ke 20 kV. Tegangan 20 kV ini disebut tegangan distribusi primer.

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.

BAB X

TOPOLOGI JARINGAN DISTRIBUSI

Tujuan Instruksional Umum:

Memberikan wawasan dan tinjauan analitis mengenai transmisi dan distribusi tenaga listrik disertai perkembangan dan teknologinya dalam sistem tenaga listrik.

Tujuan Instruksional Khusus:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengantar topologi jaringan distribusi tenaga listrik.
2. Memberikan pengetahuan tentang sistem jaringan distribusi tenaga listrik.
3. Memberikan pengetahuan tentang sistem jaringan distribusi loop.
4. Memberikan pengetahuan tentang sistem jaringan distribusi spindel.
5. Memberikan pengetahuan tentang dampak gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi.

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan letak jaringan terhadap posisi gardu distribusi dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

- Jaringan distribusi primer (jaringan distribusi tegangan menengah).
- Jaringan distribusi sekunder (jaringan distribusi tegangan rendah).

Jaringan distribusi primer (JDTM) merupakan suatu jaringan yang letaknya sebelum gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan menengah (misalnya 6 kV atau 20 kV). Hantaran dapat berupa kabel dalam tanah atau saluran/kawat udara yang menghubungkan gardu induk (sekunder trafo) dengan gardu distribusi atau gardu hubung (sisi primer trafo didistribusi).

Jaringan distribusi sekunder (JDTR) merupakan suatu jaringan yang letaknya setelah gardu distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik bertegangan rendah (misalnya 220 V/380 V). Hantaran berupa kabel tanah atau kawat udara yang menghubungkan dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke tempat konsumen atau pemakai (misalnya industri atau rumah – rumah).

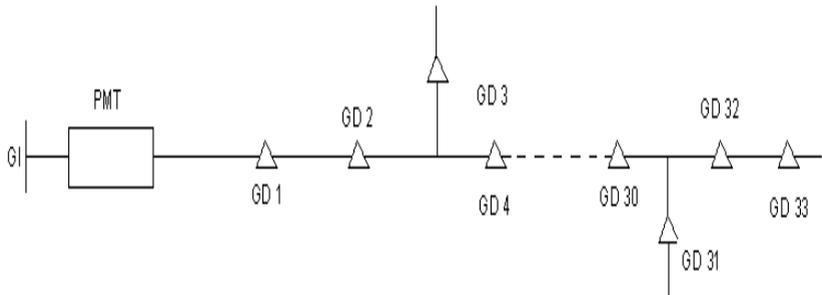
Sedangkan untuk gardu distribusi sendiri adalah suatu tempat/sarana, dimana terdapat transformator step down yaitu transformator yang menurunkan tegangan dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah (sesuai kebutuhan konsumen).

Berdasarkan konfigurasi jaringan, maka sistem jaringan distribusi dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) macam, yaitu sistem jaringan distribusi radial, loop dan spindel.

10.1 Sistem Jaringan Distribusi Radial

Bentuk jaringan ini merupakan bentuk yang paling sederhana, banyak digunakan dan murah. Dinamakan radial karena saluran ini

ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu dan dicabang – cabangkan ke titik – titik beban yang dilayani, seperti terlihat pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1. Jaringan Distribusi Radial

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan – pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir disepanjang saluran menjadi tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama sehingga luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak sama karena arus yang paling besar mengalir pada jaringan yang paling dekat dengan gardu induk. Sehingga saluran yang paling dekat dengan gardu induk ini ukuran penampangnya relatif besar dan saluran cabang – cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil mempunyai ukuran konduktornya lebih kecil pula. Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah :

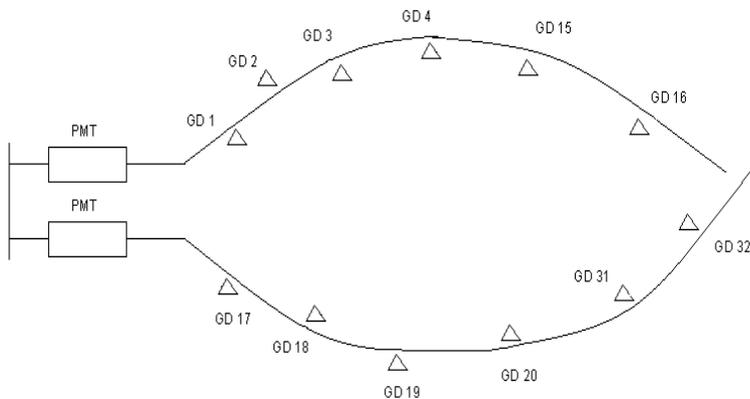
- a. Bentuknya sederhana.
- b. Biaya inverstasinya murah.

- c. Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.
- d. Kontinuitas pelayanan daya kurang terjamin sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

Untuk melokalisir gangguan pada bentuk radial ini biasanya dilengkapi dengan peralatan pengaman, fungsinya untuk membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah atau dibelakang titik gangguan selama gangguan belum teratasi.

10.2 Sistem Jaringan Distribusi Loop

Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan ring. Susunan rangkaian saluran membentuk ring, seperti terlihat pada gambar 2.3 yang memungkinkan titik beban terlayani dari dua arah saluran, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena drop tegangan dan rugi daya saluran menjadi lebih kecil.



Gambar 10.2. Jaringan Distribusi Loop

Bentuk sistem jaringan distribusi loop ini ada 2 macam yaitu :

- a. Bentuk open loop, bila dilengkapi dengan normally open switch yang terletak pada salah satu bagian gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- b. Bentuk close loop, bila dilengkapi dengan normally close switch yang terletak pada salah satu bagian diantara gardu distribusi, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

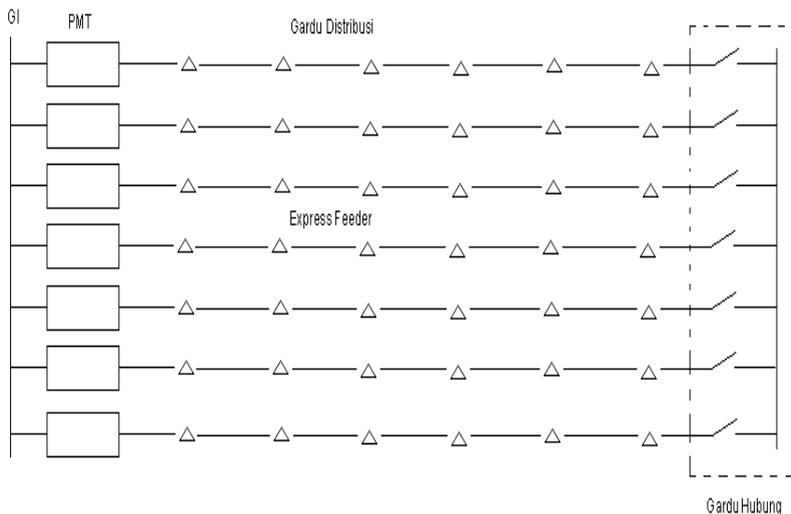
Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut

dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial.

Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.

10.3 Sistem Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi spindel (seperti Gambar 10.3) merupakan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM) yang penerapannya sangat cocok di kota – kota besar.



Gambar 10.3 Jaringan Distribusi Spindel

Adapun operasi sistem jaringan sebagai berikut :

- a. Dalam keadaan normal semua saluran digardu hubung (GH) terbuka sehingga semua SKTM beroperasi radial.
- b. Dalam keadaan normal saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
- c. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian seksi – seksi sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan seksi – seksi gardu hubung mendapat suplai dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

Sistem jaringan distribusi spindel sangat cocok untuk memenuhi kebutuhan – kebutuhan antara lain :

- a. Peningkatan keandalan atau kontinuitas pelayanan sistem.
- b. Menurunkan atau menekan rugi – rugi akibat gangguan.
- c. Sangat baik untuk mensuplai daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
- d. Perluasan jaringan mudah dilakukan.

10.4 Hubung Singkat

Menurut VDE 0100 3 N g 3 hubung singkat didefinisikan sebagai berikut :

Hubung singkat ialah suatu hubungna yang terjadi karena adanya kesalahan – kesalahan antara bagian – bagian yang bertegangan kerja, sebagai akibat tidak adanya suatu hambatan guna pada lingkaran arus dimana kesalahan tersebut terjadi.

Untuk selanjutnya hubung singkat akan sering disingkat dengan huruf – huruf h.s.

Sebab – sebab hubung singkat.

- a) Disebabkan adanya isolasi yang tembus/rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang disebabkan oleh tegangan lebih dalam (akibat manipulasi/switching) atau tegangan lebih luar (akibat petir) maupun karena isolasi tersebut telah tua/usang.
- b) Adanya pengaruh – pengaruh mekanis yang menyebabkan antaran putus dan mengenai phase/ phase – phase lainnya seperti akibat angin, layang – layang maupun akibat galian – galian yang kurang hati – hati dan lain – lainnya.
- c) Disebabkan binatang seperti tikus, kalong, lowak, ular dan lain – lain.

Macam – macam jenis hubung singkat.

A. Menurut besarnya hambatan pada tempat hubung singkat, dibeda – bedakan :

1) Hubung singkat penuh

Disini h.s. tersebut bersifat metalik

2) Hubung singkat busur api.

Disini hambatan h. S. Dibatasi oleh besarnya busur api listrik yang besarnya dapat beberapa ratus Ohm.

B. Menurut jumlah phase yang terkena h.s dibeda – bedakan :

1) Hubung singkat 3 (tiga) phase

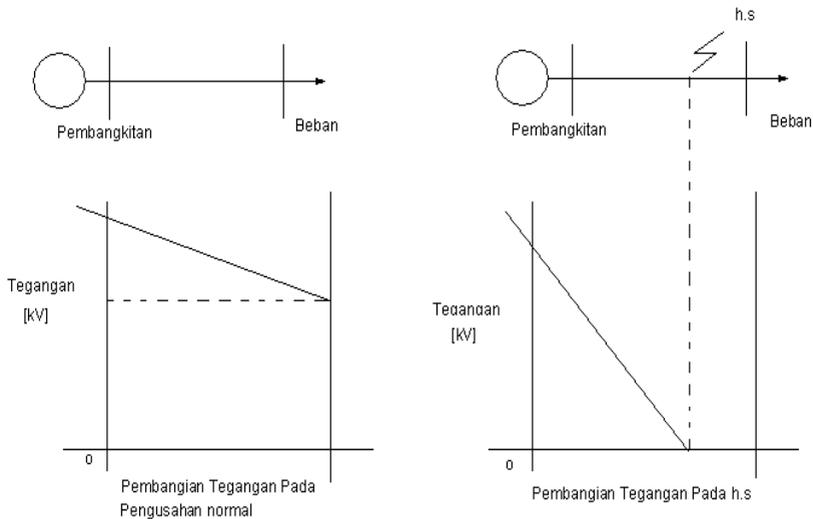
2) Hubung singkat 2 (dua) phase

- 3) a. Hubung singkat 1 (satu) phase, bila hubung dengan titik nol/netral bersifat kaku.
 - a. Hubung singkat melalui kumparan petersen dan ini tidak disebut h.s tetapi hubung tanah.
 - 4) Hubung tanah ganda (melalui kumparan petersen atau tidak) bersifat h.s 2 (dua) phase disertai hubung tanah.
- C. Menurut tempat terjadinya hubung singkat, dibeda – bedakan :
- 1) Hubung singkat yang terjadi pada sistem pembangkitan. Disini yang dimaksud adalah h.s yang terjadi pada jepitan – jepitan generator (dinamakan pula h.s jepitan) dan umumnya sangat berbahaya.
 - 2) Hubung singkat yang terjadi cukup dekat dari sistem pembangkit. Yang dimaksud disini adalah h.s yang mungkin terjadi pada rel – rel dibelakang transformator.
 - 3) Hubung singkat yang terjadi jauh dari sistem pembangkit. Yang dimaksud disini adalah h.s yang mungkin terjadi pada jaringan listrik yang jauh dari sistem pembangkitan.

10.5 Dampak Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan Distribusi

Hubung singkat yang terjadi dapat mengakibatkan :

1. Turunnya tegangan pada sistem jaringan, atau malahan pada tempat – tempat tertentu tegangan tersebut hilang sama sekali. Lihat gambar 10.4.



Gambar 10.4 Profil tegangan pada pengusahaan normal dan h.s

Turunnya tegangan (biasanya disertai dengan kegoncangan tegangan) yang dapat mengganggu stabilitas jaringan.

2. Terjadinya hubung singkat dapat menyebabkan timbulnya pengaruh – pengaruh mekanis yang dinamis pada komponen – komponen instalasi listrik seperti pada rel –rel/isolator, bata – bata penutup kabel, kumparan – kumparan trafo dan lain – lainnya. Tersebut sebanding dengan kwardat arus lonjakan hubung singkat.
3. Mulai saat terjadinya hubung singkat dapat menimbulkan pengaruh – pengaruh thermis yang mungkin cukup tinggi untuk menaikkan suhu komponen –komponen instalasi listrik sampai pada panas – panas yang membahayakan seperti :
Merusak bahan isolasi – isolasi antaran , melelehkan bahan –

bahan antaran, mendidih/menguapkan minyak – minyak trafo, pemutus tenaga dan sebagainya.

4. Dapat mengganggu kontinuitas jalannya perusahaan system jaringan, karena adanya pemutus tenaga yang terangsang serta bekerja mengeluarkan pemutus – pemutus tenaga dari suatu rangkaian arus tertentu sebagai akibat adanya h.s bekerjanya pemutus tenaga tersebut mungkin menyebabkan adanya pemadam.

Oleh karena itu perencanaan insatalasi listrik hendaknya dihitung dan disebabkan dengan kemungkinan akan adanya h.s dengan pengaruh serta akibat–akibat tersebut diatas. Pada permulaan perkembangan teknik arus kuat instalasi – instalasi listrik normal. Pengaruh hubung singkat belum belum disadari dengan bertambah besarnya system jaringan tersebut (tertentu dengan daya system pembangkitan yang lebih besar pula) pengaruh serta akibat–akibatnya tersebutnya hububng singkat terasa makin besar pula. Karena itu pengaruh–pengaruh hubung singkat harus dibatasi dengan jalan membatasi lama waktu terjadinya hubung singkat. Hal ini dilaksanakan misalnya dengan memasang teralis arus lebih dengan komponen waktunya pada pemutus – pemutus tenaga ataupun dengan menggunakan sekering – sekering yang dapat memetus hubung singkat tersebut dalam waktu yang relative singkat. Dengan pengaturan penyetelan komponen waktu realitas – realitas dapat diperoleh suatu pengaman yang selektif artinya pemutusan hanya akan terjadi pada bagian – bagian terganggu saja. Di samping itu

dikenal pula teknik pemutusan sementara hal ini didasarkan atas pengalaman bahwa tidak semua h.s tersebut bersifat tetap, tetapi justru banyak yang bersifat sementara (hubung tanah, busur listrik, burung kalong dan lain – lainnya).

Latihan:

1. Jelaskanlah jenis-jenis topologi jaringan distribusi.
2. Jelaskanlah keuntungan dari masing-masing jenis topologi jaringan distribusi.
3. Jelaskanlah dampak yang dapat terjadi dengan adanya hubung-singkat pada jaringan distribusi tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, “Statistik PLN 2013”, Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero). (2014)
- [2] D. Kusdiana, “Kondisi Riil Kebutuhan Energi di Indonesia dan Sumber-Sumber Energi Alternatif Terbaru”, Presented at the Seminar of Renewable Energy, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen ESDM, Bogor, 3 Dec. (2008).
- [3] J.J. Grainger dan W.D. Stevenson, 1994, “Power System Analysis”, *McGraw-Hill*, Singapore.
- [4] John Twidell and Tony Weir, 2006, “Renewable Energy Resources, Second Edition”, Taylor & Francis, New York.
- [5] S. Kim and E. Kim, “PSCAD/EMTDC-based modeling and analysis of a gearless variable speed wind turbine”, *IEEE Trans Energy Conversion*, Vol. 22, No. 2, pp. 421-430, 2007.
- [6] SS. Müller, M. Deicke, and R. W. De Doncker, “Doubly-fed induction generator system for wind turbines”, *IEEE Industry Applications Magazine*, May/June 2002.
- [7] R. Syahputra, Robandi, I., and Ashari, M., 2014, “Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources”, in *Proceeding of ICITACEE 2014*, Semarang, Indonesia.
- [8] R. Syahputra, “Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG”, *IJCSIT*, Vol. 4, No. 2, pp. 57-68, 2012.
- [9] R. Syahputra, Robandi I, Ashari M. Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method. *IPTEK Journal of Proceedings Series*. 2014; 1(1):224-9.
- [10] R. Syahputra, Robandi, I., and Ashari, M., “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, pp. 629-639, 2014.
- [11] R. Syahputra, Robandi I, Ashari M. Modeling and Simulation of Wind Energy Conversion System in Distributed Generation Units. *International Seminar on APTECS*. 2011; 290-6.

- [12] R. Syahputra, Robandi, I., and Ashari, M., “Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System”, *International Journal of IJCSIT*, Vol 6, No 3, pp. 39-56, 2014.
- [13] R. Syahputra, Robandi, I., and 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)*, vol.10, no.2, 2015. pp.293-304.
- [14] R. Syahputra, Robandi, I., and Ashari, M., 2015b, “Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm”, *TELKOMNIKA*, vol.13, no.3, 2015. pp.759-766.
- [15] R. Syahputra, Robandi, I., and Ashari, M., 2015, “PSO Based Multi-objective Optimization for Reconfiguration of Radial Distribution Network”, *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, vol.10, no.6, pp. 14573-14586.
- [16] R. Syahputra, 2012, “Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik”. LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- [17] T.S. Hutaauruk, 1996, “Transmisi Daya Listrik”, *Erlangga*, Jakarta.
- [18] T. Gonen, 1986, “Electric Power Distribution System Engineering”, *McGraw-Hill*, New York.
- [19] Y. Lei, A.Mullane, G.Lightbody, and R.Yacamini, “Modeling of the Wind Turbine With a Doubly Fed Induction Generator for Grid Integration Studies,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 21(1), pp.257-264, 2006.
- [20] Zuhail, 1996, “Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya”, *Gramedia*, Jakarta.
- [21] 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.
- [22] 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.

- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. *TELKOMNIKA*, 13(3), pp. 759-766.
- [28] 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.
- [29] Syahputra, R. (2015). Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif. *Jurnal Teknologi*, 8(2), pp. 161-168.
- [30] Syahputra, R. (2015). Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), pp. 11-15.
- [31] 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.
- [32] Syahputra, R., (2010), "Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material", *Forum Teknik*, Vol. 33, 2010.
- [33] 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.

- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] Jamal, A., Syahputra, R. (2011), "Model Power System Stabilizer Berbasis Neuro-Fuzzy Adaptif", *Semesta Teknika*, Vol. 14, No. 2, 2011, pp. 139-149.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 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.
- [49] Syahputra, R., (2015), “Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] 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.

- [53] 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.
- [54] 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.

GLOSARIUM

- AAAC, *All Aluminium Alloy Conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- AAC, *All Aluminium Conductor*, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- ACAR, *Aluminium Conductor Alloy Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan campuran logam.
- ACSR, *Aluminium Conductor Steel Reinforced*, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- Bundled conductor*, konduktor berkas atau pilin yang digunakan sebagai penghantar yang umum dalam sistem transmisi daya listrik.
- DC, *alternating current*, arus bolak-balik.
- DC, *direct current*, arus searah.
- DG, *distributed generation*, istilah yang sangat populer guna menjelaskan tentang sumber-sumber energi terbarukan atau yang tidak terbarukan dengan kapasitas kecil hingga menengah yang diinjeksikan ke grid sistem tenaga listrik, dalam istilah Indonesianya disebut “pembangkitan tersebar”.
- EHV, *extra high voltage*, tegangan ekstra tinggi.
- ESDM, energi dan sumber daya mineral.
- Fuel cell*, sel bahan bakar, suatu piranti elektrik yang berguna membangkitkan energi listrik dengan bahan bakar hidrogen.
- Gardu Induk (GI)*, suatu stasiun pengumpul energi listrik dari sistem pembangkitan atau sistem transmisi yang terdiri dari alat-alat transformator daya, pemutus tenaga, saklar pemisah, bus station, reactor pembatas arus, transformator arus, transformator tegangan, kapasitor kopling, transformator tegangan kapasitor, lightning arrester, rele proteksi, baterai, dan alat pendukung lainnya.
- GMD, *Geometric Mean Distance*.
- GMR, *Geometric Mean Radius*, atau jejari rata-rata geometris dari suatu luas (area) adalah limit dari jarak rata-rata geometris (GMD) antara pasangan-pasangan elemen dalam luas itu sendiri jika jumlah elemen itu diperbesar sampai tak berhingga..

Induktansi diri, perbandingan antara jatuh tegangan yang ditimbulkan oleh perubahan arus terhadap perubahan arusnya sendiri.

Inverter, piranti elektrik yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan arus bolak-balik (AC).

Isolator, piranti elektrik digunakan untuk mencegah hubung singkat antara kawat penghantar dengan menara.

Kawat tanah, ground wires, atau kawat pelindung (*shield wires*), berfungsi untuk melindungi kawat-kawat penghantar atau kawat fase terhadap sambaran petir

Konverter, piranti pengubah jenis tegangan listrik.

Kompensasi saluran transmisi, suatu upaya untuk meningkatkan unjukkerja sistem transmisi dengan cara memasang piranti elektrik di antaranya reaktor shunt, kapasitor seri atau kombinasi dari keduanya.

Konverter daya, piranti pengubah jenis tegangan listrik dengan kapasitas daya besar.

Magnetic flux, fluks magnetic, garis gaya magnetik pada suatu medan magnetik.

Menara transmisi, suatu bangunan penopang saluran transmisi yang dapat berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, atau tiang kayu.

MKS, meter-kilogram-sekon, satuan dasar standar baku internasional dalam perhitungan-perhitungan fisika dan bidang-bidang terkait.

overhead lines, saluran transmisi atau distribusi udara.

PLTA, pembangkit listrik tenaga air.

PLT Angin, pembangkit listrik tenaga angin.

PLTG, pembangkit listrik tenaga gas.

PLTMH, pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

PLTN, pembangkit listrik tenaga nuklir.

PLTS, pembangkit listrik tenaga surya.

PLTU, pembangkit listrik tenaga uap.

proximity effect, efek sekitar, pengaruh dari kawat lain yang berada di samping kawat yang ditinjau sehingga distribusi fluks tidak simetris lagi. Tetapi jika radius konduktor relatif kecil terhadap jarak antara kedua kawat maka efek sekitar ini sangat kecil dan dapat diabaikan

renewable energy resources, sumber-sumber energi terbarukan seperti angin, air, surya, dan lain-lain.

- Saluran transmisi menengah*, saluran transmisi jarak menengah pada suatu sistem tenaga listrik (80 s.d. 250 km).
- Saluran transmisi pendek*, saluran transmisi jarak pendek pada suatu sistem tenaga listrik (< 80 km).
- Saluran transmisi panjang*, saluran transmisi jarak panjang pada suatu sistem tenaga listrik (> 250 km).
- skin effect*, efek kulit, gejala pada arus bolak-balik bahwa kerapatan arus dalam penampang konduktor tersebut makin besar ke arah permukaan kawat. Tetapi jika kita hanya meninjau frekuensi kerja (50 Hz atau 60 Hz) maka pengaruh efek kulit itu sangat kecil dan dapat diabaikan.
- Sistem Tenaga Listrik*, suatu sistem yang terdiri dari komponen utamanya yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi, dan beban-beban listrik.
- Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, suatu sistem yang berfungsi untuk menerima daya listrik dari sistem transmisi dan menyalurkannya ke pusat-pusat beban dalam sistem tenaga listrik, dengan tingkat tegangan menengah menurut standar yang berlaku di suatu negara.
- Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik*, suatu sistem yang berfungsi untuk membangkitkan daya listrik yang umumnya terdiri dari turbin dan generator, untuk selanjutnya mencatu sistem transmisi daya listrik untuk dikirimkan ke sistem distribusi.
- Sistem subtransmisi*, bagian dari sistem perlengkapan elektrik yang mengirimkan daya dari bulk power sources (BPS), sebagaimana halnya gardu induk transmisi yang besar.
- Sistem Transmisi Tenaga Listrik*, suatu sistem yang berfungsi untuk menghubungkan sistem pembangkitan ke sistem distribusi dalam sistem tenaga listrik, dengan tingkat tegangan tinggi, tegangan ekstra tinggi, dan atau tegangan ultra tinggi menurut standar yang berlaku di suatu negara. Standar tegangan transmisi di Indonesia adalah 66 kV, 150 kV, 380 kV, dan 500 kV.
- solar cell*, sel surya, piranti elektrik untuk membangkitkan energi listrik dengan sumber energi matahari (surya).
- solid wire*, konduktor padat atau pejal yang digunakan sebagai penghantar yang umum dalam sistem tenaga listrik.
- Transformer*, piranti elektrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik.

Transformator arus, piranti elektrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan arus listrik (umumnya penurun arus) yang digunakan pada sistem proteksi dan pengukuran.

Transformator daya, piranti elektrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik pada pembangkit listrik dan sistem transmisi daya listrik.

Transformator distribusi, piranti elektrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik pada pembangkit listrik dan sistem distribusi daya listrik.

UHV, *ultra high voltage*, tegangan ultra tinggi.

underground cable, saluran transmisi atau distribusi bawah tanah menggunakan kabel daya bawah tanah.

BIODATA PENULIS



A. Identitas Diri

Nama Lengkap	Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.
Jabatan Fungsional	Asisten Ahli (<i>dalam proses Lektor Kepala</i>)
Tempat dan Tanggal Lahir	Galang, Deli Serdang, Sumatera Utara, 10 Oktober 1974
Agama	Islam
Pekerjaan	Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Pendidikan	S1: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Medan, Medan, 1993-1998 S2: Program Studi Ilmu Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, 1999-2002 S3: Program Studi Ilmu Teknik Elektro Program Pascasarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011-2015
Alamat Rumah	Perum Popongan No. AA1, Jl. Magelang Km 5 Sinduadi, Mlati, Sleman, DI Yogyakarta 55284
Nomor HP	081215526565
Alamat Kantor	Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UMY Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183
Nomor Telepon/Faks	0274-387656/ 0274-387646
Alamat e-mail	ramadoni@umy.ac.id