



Penerbit
GRAHA ILMU

Operasi Sistem Tenaga Listrik

Djiteng Marsudi



Tenaga Listrik merupakan komoditi yang mempengaruhi hajat hidup orang banyak, oleh karenanya penyediaannya bagi masyarakat haruslah seekonomis mungkin dengan memperhatikan mutu dan keandalan. Untuk mencapai hal ini Sistem Tenaga Listrik, yang menghasilkan Tenaga Listrik, haruslah dioperasikan dengan profesionalisme yang tinggi agar tercapai kondisi operasi yang optimum.

Melihat masa depan masalah penyediaan Tenaga Listrik di Indonesia, interkoneksi dengan negara tetangga seperti Malaysia dan Singapura bukanlah impian kosong, tetapi akan menjadi kenyataan. Jika hal ini terjadi maka ekspor-impor Tenaga Listrik dengan negara tetangga akan merupakan bisnis Tenaga Listrik yang harus ditangani secara profesional.

Buku ini diharapkan oleh Penulis bisa memberikan sumbangan pikiran bagi para mahasiswa dan bagi para profesional yang berkecimpung dalam pengelolaan penyediaan Tenaga Listrik.

Selengkapnya akan dibahas materi sebagai berikut

- **Jadwal Pemeliharaan dan Keandalan**
- **Pembebanan Unit Pembangkit**
- **Pengaturan Frekwensi**
- **Kendala dan Gangguan dalam Operasi**
- **Pengamanan Sistem Tenaga Listrik**
- **Pelaksanaan dan Pengendalian Operasi**
- **Pengaturan Tegangan dan Alokasi Daya Reaktif**
- **Sarana untuk Operasi Sistem Tenaga Listrik**
- **Analisa dan Evaluasi Operasi**



Ir. Djiteng Marsudi adalah lulusan Institut Teknologi Bandung Jurusan Teknik Tenaga Listrik Tahun 1962, penulis langsung bekerja di Perusahaan Umum Listrik Negara (PLN) hingga Pensiun pada tahun 1998. Selama bekerja di PLN mempunyai banyak pengalaman dibidang Pembangkitan, Operasi Sistem maupun Distribusi, dengan jabatan terakhir sebagai Direktur Utama PLN.

Karir di bidang Pendidikan adalah sebagai Pengajar dengan Home Base Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN) Jakarta sejak tahun 1984 dan saat ini mempunyai Pangkat Akademik Lektor Kepala. Sebagai pengajar, penulis juga telah menulis buku Pembangkitan Energi Listrik yang diterbitkan oleh Penerbit Erlangga pada tahun 2005. Saat ini penulis sebagai Ketua STT-PLN (Sekolah Tinggi Teknik Yayasan Pendidikan dan Kesejahteraan PT. PLN (Persero)) dan bekerja sebagai Senior Technical Advisor PT. Jalamas Berkatama serta menjadi Komisaris di beberapa Perusahaan Swasta



**Penerbit
GRAHA ILMU**

www.grahailmu.com

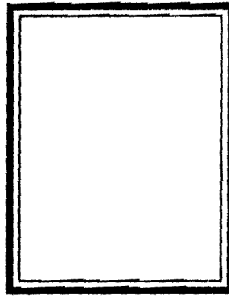
TEKNIK

ISBN-13: 978-979-756-119-2

ISBN-10: 979-756-119-0



9 789797 561192



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Proses Penyampaian Tenaga Listrik ke Pelanggan	1
I.2 Sistem Tenaga Listrik	7
I.3 Perkembangan Sistem Tenaga Listrik	8
I.4 Persoalan-persoalan Operasi Sistem Tenaga Listrik	9
I.5 Manajemen Operasi Tenaga Listrik	10
I.6 Pengembangan Sistem Tenaga Listrik	13
I.7 Pemeliharaan Instalasi	13
I.8 Sistem Distribusi	14
I.9 Penggunaan Komputer	14
I.10 Perkembangan Operasi Sistem Tenaga Listrik	15
BAB II JADWAL PEMELIHARAAN DAN KEANDALAN	21
II.1 Pendahuluan	21
II.2 Rencana Operasi	22
II.3 Analisa Beban Sistem	24
II.4 Cara-cara Memperkirakan Beban	32
II.5 Jadwal Pemeliharaan Peralatan Dalam Sistem	36
II.6 Daya Tersedia dalam Sistem	39
II.7 Kemungkinan Kehilangan Beban (Loss of Load Probability)	44
II.8 Menentukan Keandalan Sistem	46
II.9 Cara menghitung keandalan Sistem Tenaga Listrik	49
II.10 Perhitungan Pengaruh Penambahan Unit Pembangkit terhadap Keandalan Sistem	56

II.11	Kemungkinan Kumulatif	58
II.12	Perhitungan Pengaruh Pengurangan Unit Pembangkit terhadap Keandalan Sistem	60
II.13	Menghitung LOLP	62
II.14	Jadwal Pemeliharaan Unit Pembangkit LOLP dan Sekuriti (n-1)	67
II.15	Menghitung Biaya Bahan Bakar dalam Sistem	69
II.16	Konvolusi dengan Metode Segmentasi	76
II.17	Presentasi Keadaan Majemuk Sebuah Unit Pembangkit	89
II.18	Pembebanan dengan Blok Majemuk dari Unit Pembangkit	91
II.19	Metode Segmentasi untuk Menghitung LOLP dua sisem yang diinterkoneksi	94
II.20	Konsumsi Energi dalam Sistem	101
II.21	Jam Nyala Unit Pembangkit	103
II.22	Neraca Energi dalam Sistem	104
II.21	Contoh Aplikasi Perhitungan LOLP	106
BAB III	PEMBEBANAN UNIT PEMBANGKIT	115
III.1	Optimisasi Hidro-Termis dengan menggunakan metoda La Grange multiplier	115
III.2	Optimisasi Hidro-Termis dengan menggunakan metoda Gradien	128
III.3	Langkah-langkah pelaksanaan optimisasi hidro – termis	137
III.4	Contoh Soal Optimisasi Hidro & Termis	142
III.5	Optimisasi Hidro-Termis dengan metoda Dynamis Programming	152
III.6	PLTA Pompa (Pumped Stroge Hydro Power Station)	155
III.7	P L T A Pasang-surut	158
III.8	P L T A – P L T A dalam Kaskade	160
III.9	Jadwal Operasi Unit Pembangkit	168
III.10	Menghitung Jadwal Operasi Unit Pembangkit dengan metoda Dynamic Programming	171
III.11	Pembebanan yang Ekonomis Unit-unit Pembangkit Termis	179
III.12	Rencana Operasi Jangka Menengah dan Rencana Operasi Jangka Pendek	182
III.13	Contoh Hasil Perhitungan dengan Komputer	187
III.14	Contoh soal	209
III.15	Peranan Subsistem Hidro	214
III.16	Pembagian beban yang ekonomis antara unit-unit termis dengan memperhatikan rugi-rugi transmisi	218
III.17	Bisnis energi listrik dalam pasar bebas	220
III.18	Soal - soal	221
BAB IV	PENGATURAN FREKWENSI	225
IV.1	Daya Aktif dan Frekwensi	225
IV.2	Prinsip Kerja Governor	227
IV.3	Penyetelan Speed Droop	234
IV.4	Prinsip Kerja Governor Woodward	237
IV.5	Hubungan antara Speed Droop dan Pembagian Beban	242
IV.6	Tinjauan Matematis Terhadap Pengaturan Primer Dalam Keadaan Statis	244

IV.7	Tinjauan Matematis Respon waktu dari Governor terhadap Frekwensi (Keadaan Dinamis)	246
IV.8	Pengaturan Sekunder pada Governor	262
IV.9	Pengaturan Frekwensi dan Beban (Load Frequency Control)	264
IV.10	Pelepasan Beban (Load Shedding)	267
IV.11	Macam-macam Cadangan Pembangkitan	268
IV.12	Contoh-contoh soal untuk keadaan statis	269
IV.14	Perhitungan Penurunan Frekwensi karena gangguan Unit Pembangkit	277
IV.15	Pelepasan Beban untuk menghindari Gangguan Berat dalam Sistem	284
IV.16	Flow Chart untuk menghitung Frekwensi sebagai fungsi waktu	286
IV.16	Soal- soal	290
IV.17	Hubungan antara speed droop dan k_f	291
BAB V	KENDALA DAN GANGGUAN DALAM OPERASI	295
V.1	Gambaran umum mengenai Kendala	295
V.2	Kendala-kendala Operasi pada PLTU	296
V.3	Kendala-kendala Operasi pada PLTA	303
V.4	Kendala-kendala Operasi pada PLTG	306
V.6	Kendala-kendala Operasi pada PLTD	310
V.6	Kendala-kendala Operasu yang bersifat Listrik	311
V.7	Kendala-kendala Operasi pada saat beban rendah	312
V.8	Kendala-kendala Operasi yang bersifat Non Teknis	312
V.9	Kendala-kendala Operasi pada PLTP	312
V.10	Kendala Karena Soal Lingkungan	313
V.11	Proses Konversi Energi Pada PLTU	314
V.12	Definisi dan Macam Gangguan	317
V.13	Sebab sebab Gangguan pada Saluran saluran Listrik	319
V.14	Angka angka Pelepasan SUTT 150 KV dan 70 KV	319
V.15	Jumlah Gangguan karena petir pada SUTT	320
V.16	Gangguan pada SUTT Sirkuit Ganda	322
V.17	Saat saat terjadinya Gangguan karena petir	322
V.18	Persentase jumlah Gangguan karena petir	323
V.19	Jumlah Gangguan dalam sistem	323
V.20	Sebab sebab Gangguan pada Pusat pusat Listrik	324
V.21	Gangguan dalam Gardu Induk	330
V.22	Gangguan Karena Beban Lebih	332
V.23	Usaha-usaha Mengurangi Jumlah Gangguan	333
V.24	Akibat akibat Gangguan	338
V.25	Proses terjadinya Gangguan karena Petir	338
V.26	Gangguan dalam Jaringan Distribusi	341
V.27	Gangguan gangguan yang besar	345
V.28	Distorsi Tegangan Tinggi dan Arus	346
V.29	Soal soal	347

BAB 6 PENGAMANAN SISTEM TENAGA LISTRIK

VI.1	Fungsi Alat Pengaman	349
VI.2	Konstruksi Relay Elektro Mekanik	350
VI.3	Konstruksi Relay Solid State (Static Relay)	351
VI.4	Pengaman Generator	353
VI.5	Standarisasi Pengamanan	360
VI.6	Pengaman Transformator	360
VI.7	Pengamanan SUTT	363
VI.8	Relay Impedansi	365
VI.9	Pengaruh tahanan busur tapi gangguan	373
VI.10	Intertripping	374
VI.11	Sistem dengan kumparan Petersen	376
VI.12	Sistem dengan titik netral yang ditanahkan	379
VI.13	Penggunaan Penutup Balik (Auto Reclosers)	380
VI.14	Pengamanan Kabel Tanah	382
VI.15	Pengaman Cadangan pada Saluran Transmisi	384
VI.16	Relay Gangguan Hubung Tanah yang selektif	386
VI.17	Pengaman Rel	388
VI.18	Relay Kegagalan PMT (Breaker Failure Relay)	390
VI.19	Pentanahan Sistem Distribusi	391
VI.20	Pengaman Jaringan Distribusi	394
VI.21	Koordinasi Penutup Balik dengan Sekering Lebur	399
VI.22	Penggunaan Pemutus Beban	402
VI.23	Tingkat Arus Gangguan	403
VI.25	Contoh contoh	403
VI.24	Relai Digital (numerik)	406
VI.25	Soal - soal	408

BAB VII PELAKSANAAN DAN PENGENDALIAN OPERASI

VII.1	Persiapan persiapan sebelum pelaksanaan Operasi	411
VII.2	Pelaksanaan Operasi	412
VII.3	Pengendalian Operasi	413
VII.4	Pedoman pedoman Operasi	414
VII.5	Konfigurasi Jaringan	415
VII.6	Pedoman umum untuk mengatasi gangguan	421
VII.7	Prosedur Pembebasan Tegangan	424
VII.8	Identifikasi Peralatan	427
VII.9	Identifikasi Petugas dan Pejabat Operasi Sistem Tenaga Listrik	429
VII.10	Pengoperasian Instalasi Baru	430
VII.11	Kondisi Operasi Sistem	431
VII.12	Operasi dari Penutup Balik (Auto Recloser)	431

VII.13	Pemasukan dan pengeluaran PMT	432
VII.14	Masalah Arus Hubung Singkat	434
VII.15	Pengoperasian Reaktor	436
VII.16	Pengoperasian Kondensator	438
VII.17	Operasi dengan menggunakan relay selektif	439
VII.18	Konfigurasi Instalasi Pemakaian Sendiri di Pusat Listrik	440
VII.19	Pengaturan Tegangan dengan Tap Transformator	442
VII.20	Operasi Sistem 500 KV	444
VII.21	Operasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah	446
VII.22	Operasi Jaringan Distribusi Tegangan Rendah	449
VII.23	Pusat Pengatur Distribusi	450
VII.24	Kesalahan kesalahan Operasi	452
VII.25	Kecelakaan kecelakaan dalam operasi	455
VII.26	Langkah langkah Keselamatan Kerja	457
VII.27	Sistem Interlok	459
VII.28	Operasi Jaringan Spindel dengan Fasilitas Komputer	460
VII.29	Beban beban yang perlu mendapat perhatian dalam operasi sistem tenaga Listrik	464
VII.30	Mengoperasikan saluran transmisi yang tidak berbeban (pasal tambahan)	467
VII.31	Kombinasi relai digital dengan SCADA	468
VII.32	Mutu Tenaga Listrik	470
VII.30	Soal soal	472
BAB VIII	PENGATURAN TEGANGAN DAN ALOKASI DAYA REAKTIF	476
VIII.1	Pengaturan Tegangan Arus dan Daya Pada Saluran Transmisi	477
VIII.2	Hal yang mempengaruhi pengaturan tegangan	484
VIII.3	Perhitungan Aliran Daya (Load Flow Calculation)	486
VIII.4	Algoritma Perhitungan Aliran Daya dengan Metoda Newton Rhapson	489
VIII.5	Alokasi Daya Reaktif yang Optimum	493
VIII.6	Pernyataan Permasalahan secara Matematis	505
VIII.7	Cara Menghitung Koefisien Sensitivitas	509
VIII.8	Pengatur Tegangan Otomatis Generator	511
VIII.9	Pemecahan Persoalan dengan metoda Lineair Programming (Program Linier)	515
VIII.10	Rangkaian Listrik Pengatur Tegangan Otomatis Generator	518
VIII.11	Pengatur Tap Transformator	522
VIII.12	Sumber sumber Daya Reaktif	525
VIII.13	Prinsip Kerja Static VAR Compensator	527
VIII.14	Penggunaan Local Controllers	529
BAB IX	SARANAN UNTUK OPERASI SISTEM TENAGA LISTRIK	531
IX.1	Lalu Lintas Data dan Informasi	531
IX.2	Control Hirarch	533
IX.3	Sarana Telekomunikasi dari Perusahaan Umum Telekomunikasi	534

IX.4	Sistem Radio	534
IX.5	Sistem Power Line Carrier (PLC)	536
IX.6	Sentral Telepon Lokal Otomat (STLO)	539
IX.7	Telemetry dan Pengolahan Data secara Elektronik	539
IX.8	Software dari System Control and Data Acquisition	541
IX.9	Program program Off Line	547
IX.10	Pengembangan Fasilitas Operator	547
IX.11	Penyajian Data Operasi	548
IX.12	Jaringan Serat Optik	552
IX.12	Soal soal	552
BAB X	ANALISA DAN EVALUASI OPERASI	553
X.1	Ikhtisar mengenai Proses Operasi Sistem Tenaga Listrik	553
X.2	Laporan Operasi	555
X.3	Rasio rasio Operasional	561
X.4	Analisa dan Evaluasi Hasil Operasi	564
DAFTAR SINGKATAN		565
DAFTAR SIMBOL		567
DAFTAR PUSTAKA		569
TENTANG PENULIS		575

-oo0oo-