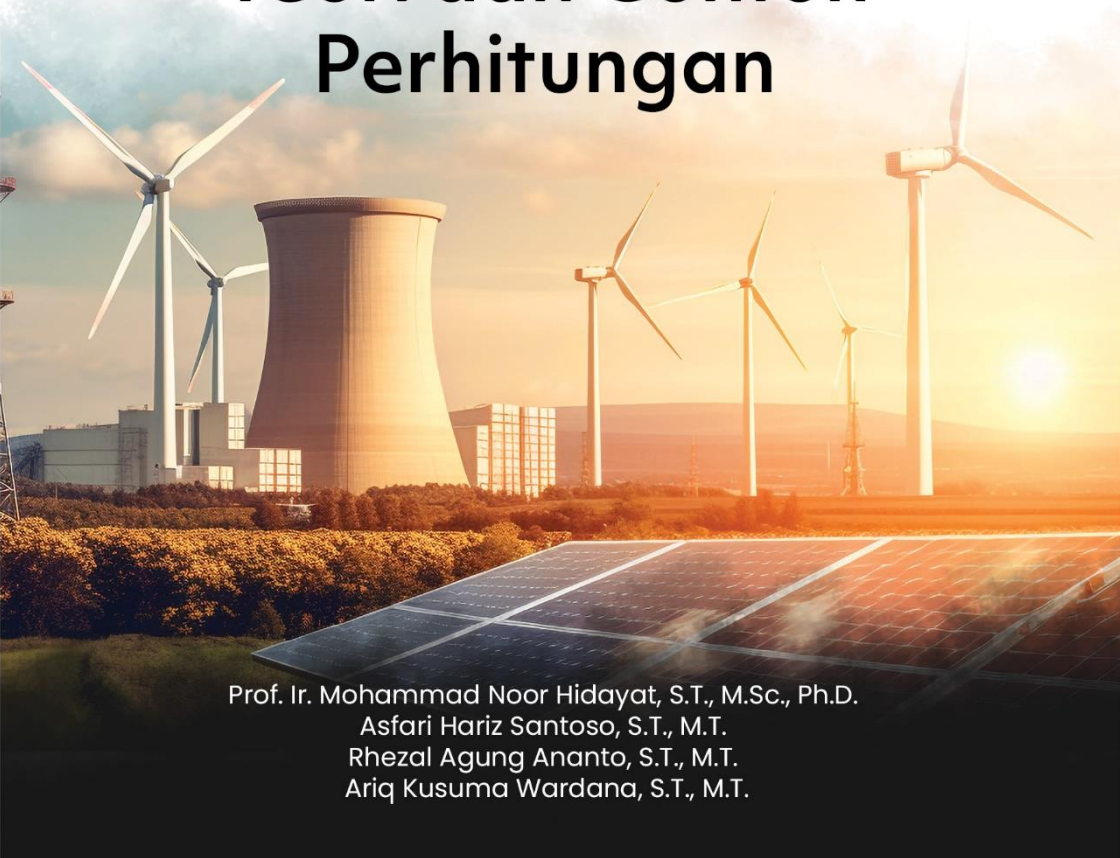


ANALISIS SISTEM TENAGA

Teori dan Contoh Perhitungan



Prof. Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.
Asfari Hariz Santoso, S.T., M.T.
Rhezal Agung Ananto, S.T., M.T.
Ariq Kusuma Wardana, S.T., M.T.

Analisis Sistem Tenaga

--- Teori Dan Contoh Perhitungan ---

Prof. Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

Asfari Hariz Santoso, S.T., M.T.

Rhezal Agung Ananto, S.T., M.T.

Ariq Kusuma Wardana, S.T., M.T.



PENERBIT KBM INDONESIA

adalah penerbit dengan misi memudahkan proses penerbitan buku-buku penulis di tanah air Indonesia, serta menjadi media *sharing* proses penerbitan buku.

ANALISIS SISTEM TENAGA

Teori Dan Contoh Perhitungan

*Copyright @ 2026 By Prof. Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc.,
Ph.D., dkk*

All right reserved

Penulis

Prof. Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D.

Asfari Hariz Santoso, S.T., M.T.

Rhezal Agung Ananto, S.T., M.T.

Ariq Kusuma Wardana, S.T., M.T.

Desain Sampul

Eca Art

Tata Letak

Husnud Diniyah

Editor

Dr. Muhamad Husein Maruapey, Drs., MSc.

Background isi buku di ambil dari [https://www. freepik. com/](https://www.freepik.com/)

Official

Depok, Sleman-Jogjakarta (Kantor)

Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia

Anggota IKAPI/No. IKAPI 279/JTI/2021

081357517526 (Tlpn/WA)

Website

<https://penerbitkbm.com>

www.penerbitbukumurah.com

Email

naskah@penerbitkbm.com

Distributor

<https://penerbitkbm.com/toko-buku/>

Youtube

Penerbit KBM Sastrabook

Instagram

@penerbit. kbmindonesia

@penerbitbukujogja

ISBN: 978-634-278-242-2

Cetakan ke-1, Maret 2026

14,8 x 21 cm, xii + 157 halaman

Isi buku diluar tanggungjawab penerbit
Hak cipta merek KBM Indonesia sudah terdaftar di DJKI-Kemenkumham dan
isi buku dilindungi undang-undang.

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa seizin penerbit karena beresiko sengketa hukum

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

- i. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100. 000. 000 (seratus juta rupiah).
- ii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500. 000. 000,00 (lima ratus juta rupiah).
- iii. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1. 000. 000. 000,00 (satu miliar rupiah).
- iv. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4. 000. 000. 000,00 (empat miliar rupiah).

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Ta'ala, atas limpahan rahmat-Nya sehingga buku "Analisis Sistem Tenaga: Teori dan Contoh Perhitungan" ini dapat terselesaikan dengan baik.

Di tengah pesatnya kebutuhan akan energi listrik yang stabil dan efisien, penguasaan atas perilaku sistem tenaga listrik telah menjadi kompetensi yang mutlak dimiliki. Baik bagi mahasiswa teknik elektro maupun praktisi lapangan, memahami kompleksitas jaringan modern sangatlah penting demi menjaga reliabilitas dan keamanan sistem di era transisi energi saat ini.

Buku ini hadir sebagai upaya untuk menyinkronkan teori akademis yang seringkali kompleks dengan kebutuhan praktis di lapangan. Materi dalam buku ini mencakup poin-poin fundamental yang menjadi tulang punggung analisis sistem tenaga:

- Membedah dasar-dasar sistem tenaga serta cara merepresentasikan model jaringan modern secara akurat.
- Penerapan metode Per-Unit (pu) untuk menyederhanakan kalkulasi pada sistem multitegangan yang kompleks.
- Pendalaman mengenai Komponen Simetris dan Urutan Jala-jala sebagai instrumen kunci dalam memetakan gangguan.

- Prosedur perhitungan Arus Hubung Singkat yang menjadi landasan utama dalam menentukan spesifikasi Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*).

Besar harapan penulis agar buku ini mampu menjadi panduan yang memudahkan pembaca dalam memecahkan berbagai persoalan aliran daya dan dinamika gangguan. Penulis menyadari bahwa karya ini jauh dari kata sempurna; oleh sebab itu, segala bentuk kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan demi perbaikan di edisi mendatang.

Akhir kata, semoga buku ini memberikan manfaat nyata dan menjadi kontribusi positif bagi perkembangan dunia teknik tenaga listrik di tanah air.

Malang, Maret 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	xi
01 . PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK.....	1
1.1 Sistem Tenaga Modern.....	1
1.2 Komponen Sistem Tenaga Modern.....	9
02 . PRINSIP DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK.....	19
2.1 Daya.....	19
2.2 Faktor Daya	21
2.3 Kualitas Daya	21
2.4 Sistem Tiga Fasa Seimbang	26
2.5 Konfigurasi Wye (Y) dan Delta (Δ).....	28
2.6 Daya Tiga Fasa Seimbang.....	30
03 . REPRESENTASI SISTEM TENAGA MODERN.....	33
3.1 Pemodelan Generator Sinkron.....	33
3.2 Pemodelan Transformator Daya.....	38
3.3 Pemodelan Saluran Transmisi	42
3.4 Pemodelan Motor Asinkron	51
3.5 Diagram Satu Garis (<i>Single Line Diagram</i>).....	54
04 . PERHITUNGAN SISTEM PER-UNIT.....	57
4.1 Pengantar Sistem Per-Unit	57
4.2 Perubahan Basis (<i>Change of Base</i>).....	63

05 . KOMPONEN SIMETRIS	67
5.1 Dasar Komponen Simetris.....	67
5.2 Penurunan Komponen Simetris	74
06 . JALA-JALA URUTAN	81
6.1 Impedansi Urutan (<i>Sequence Impedances</i>)	81
6.2 Jala-Jala Urutan pada Komponen STL.....	91
6.3 Aturan Umum Penggambaran Jala-Jala Urutan.....	99
6.4 Menyederhanakan Diagram Impedansi-Reaktansi	99
07 . PERHITUNGAN ARUS HUBUNG SINGKAT	105
7.1 Aturan Umum Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	106
7.2 Gangguan 1 Fasa ke Tanah (<i>Single-Line-to-Ground Fault</i>)	107
7.3 Gangguan 2 Fasa (<i>Line-to-Line Fault</i>)	116
7.4 Gangguan 2 Fasa ke Tanah (<i>Double-Line-to-Ground Fault</i>)	123
7.5 Gangguan Simetris 3 Fasa (<i>Three-Phase Fault</i>)	131
08 . PEMILIHAN PEMUTUS TENAGA (CIRCUIT BREAKER)	139
8.1 Definisi Pemutus Tenaga	139
8.2 MVA Hubung Singkat.....	141
8.3 Kapasitas dan Rating Pemutus Tenaga	143
DAFTAR PUSTAKA	149
PROFIL PENULIS.....	153

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Representasi Sistem Tenaga Listrik.....	2
Gambar 2.	Contoh STL Jawa-Madura-Bali (JAMALI) [2]	4
Gambar 3.	Laju Daya Sistem Kelistrikan di Indonesia [2]	5
Gambar 4.	Studi Kasus: Blackout Sistem JAMALI pada Tahun 2019 [3]	7
Gambar 5.	Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jawa-7, Suralaya, Banten dengan Kapasitas 2x1050 MW [6]	10
Gambar 6.	Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung Cirata, Jawa Barat dengan Kapasitas 145 MWac/192 MWp [7]	11
Gambar 7.	SUTET Ungaran - Ngimbang/Krian SUTET 500 kV [8]	12
Gambar 8.	GITET Ampel 500 kV di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah [9]	13
Gambar 9.	Contoh Jaringan Distribusi Sistem Tenaga [10]..	14
Gambar 10.	PLN Unit Induk Pusat Pengaturan Beban Jawa- Madura-Bali (PLN UIP2B JAMALI) [13]	18
Gambar 11.	Segitiga Daya	19
Gambar 12.	Kurva Tegangan saat Terjadinya Voltage Sag	22
Gambar 13.	Kurva Tegangan saat Terjadinya Voltage Swell .	23
Gambar 14.	Ilustrasi saat terjadi Harmonisa [16]	25
Gambar 15.	Ilustrasi Sistem Balance dan Unbalance [17]	26

Gambar 16.	Sistem Tiga Fasa Seimbang	27
Gambar 17.	(a). Urutan Fasa Positif, (b). Urutan Fasa Negatif.....	27
Gambar 18.	Konfigurasi Wye (Y) dan Koneksi Y-Y	28
Gambar 19.	Konfigurasi Delta (Δ) dan Koneksi Δ - Δ	30
Gambar 20.	Keterkaitan Konfigurasi Δ -Y	30
Gambar 21.	Contoh Penerapan Generator Sinkron [19]	33
Gambar 22.	Alur konversi dari Energi Mekanik menjadi Energi Listrik	34
Gambar 23.	Struktur Generator Sinkron Tiga Fasa [21]	36
Gambar 24.	Model Ekuivalen Generator Sinkron	37
Gambar 25.	Penggunaan Transformator Daya pada Gardu Induk [22]	38
Gambar 26.	Ilustrasi Struktur Transformator secara Umum [18]	39
Gambar 27.	Representasi Transformator Tidak Ideal	40
Gambar 28.	Model Ekuivalen Transformator Nyata	41
Gambar 29.	Model Ekuivalen Transformator Nyata yang lebih Sederhana	41
Gambar 30.	Saluran Transmisi 500 kV (SUTET Balaraja- Kembangan) [23]	42
Gambar 31.	Contoh Transposisi Saluran Transmisi HVAC [24]	45
Gambar 32.	Model Ekuivalen Saluran Transmisi Pendek [1]	46
Gambar 33.	Model Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah Nominal π [1]	46
Gambar 34.	Model Ekuivalen Saluran Transmisi Menengah Nominal T [4]	48

Gambar 35. Model Ekuivalen Saluran Transmisi Panjang [1]	50
Gambar 36. Motor Induksi [25].....	51
Gambar 37. Konstruksi Motor Induksi [25]	53
Gambar 38. Model Ekuivalen Motor Induksi [21]	53
Gambar 39. Ilustrasi dan Simbol SLD Standar ANSI [26].....	55
Gambar 40. Ilustrasi dan Simbol SLD Standar IEC [27]	55
Gambar 41. Fasor Sistem Tiga Fasa Seimbang	67
Gambar 42. Fasor Sistem Tiga Fasa Tak Seimbang akibat Gangguan Single-Line-to-Ground	69
Gambar 43. Gambaran Fasor untuk (a). Urutan Positif, (b). Urutan Negatif, dan (c). Urutan Nol	70
Gambar 44. Fasor Urutan Positif	72
Gambar 45. Fasor Urutan Negatif	73
Gambar 46. Fasor Urutan Nol.....	74
Gambar 47. Rangkaian Ekuivalen Impedansi Urutan Beban Bintang atau Wye [28].....	82
Gambar 48. Urutan Jala-jala untuk Beban Bintang atau Wye [28]	83
Gambar 49. Rangkaian Ekuivalen Impedansi Urutan Saluran Transmisi [28].....	84
Gambar 50. Aliran Arus Urutan Nol dengan Lintasan Balik melalui Tanah [1]	84
Gambar 51. Urutan Jala-jala untuk Saluran Transmisi [28] ...	85
Gambar 52. Jala-jala Urutan untuk Generator Sinkron [28] ..	87
Gambar 53. Jala-jala Urutan untuk Motor Sinkron dan Motor Induksi [28].....	88
Gambar 54. Jala-jala Urutan untuk Transformator Daya [28]	89

Gambar 55.	Rangkaian Ekuivalen Impedansi Transformator Daya Bergantung pada Jenis Hubungan Belitan dan Kondisi Pentanahan [1].....	90
Gambar 56.	Contoh Single-line Diagram dari Sistem Tenaga Listrik [14].....	100
Gambar 57.	Diagram Impedansi Ekuivalen Hasil Konversi Gambar 56 [14].....	100
Gambar 58.	Diagram Reaktansi Ekuivalen Hasil Konversi Gambar 57 [14].....	101
Gambar 59.	Representasi Sistem Tiga Fasa dalam Keadaan Seimbang	108
Gambar 60.	Representasi STL saat Terjadi Gangguan SLG di Fasa <i>a</i>	109
Gambar 61.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan Urutan untuk Gangguan SLG.....	111
Gambar 62.	Contoh Single-Line Diagram Sistem Tenaga Listrik	112
Gambar 63.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan (a). Urutan Nol, (b). Urutan Positif, dan (c). Urutan Negatif pada Sistem tenaga Listrik.....	113
Gambar 64.	Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Jaringan (a). Urutan Nol, (b). Urutan Positif, dan (c). Urutan Negatif.....	114
Gambar 65.	Rangkaian Ekuivalen untuk Analisis Arus Hubung Singkat SLG	115
Gambar 66.	Representasi STL saat Terjadi Gangguan L-L di Fasa <i>b</i> dan <i>c</i>	117

Gambar 67.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan Urutan untuk Gangguan L-L	120
Gambar 68.	Contoh Single-Line Diagram Sistem Tenaga Listrik	121
Gambar 69.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan (a). Urutan Positif, dan (b). Urutan Negatif pada Sistem tenaga Listrik	121
Gambar 70.	Rangkaian Ekuivalen untuk Analisis Arus Hubung Singkat L-L.....	122
Gambar 71.	Representasi STL saat Terjadi Gangguan DGL di Fasa b dan c terhadap Tanah	124
Gambar 72.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan Urutan untuk Gangguan DLG.....	126
Gambar 73.	Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen Jaringan Urutan untuk Gangguan DLG	128
Gambar 74.	Contoh Single-Line Diagram Sistem Tenaga Listrik	129
Gambar 75.	Rangkaian Ekuivalen Jaringan (a). Urutan Nol, (b). Urutan Positif, dan (c). Urutan Negatif pada Sistem tenaga Listrik.....	130
Gambar 76.	Rangkaian Ekuivalen untuk Analisis Arus Hubung Singkat DLG	130
Gambar 77.	Rangkaian Ekuivalen Pemodelan STL untuk Gangguan Simetris 3 Fasa	132
Gambar 78.	Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen untuk Gangguan Simetris 3 Fasa	132
Gambar 79.	Analisis Rangkaian Ekuivalen dengan Metode Superposisi	133

Gambar 80.	Analisis Lanjutan Rangkaian Ekuivalen dengan Metode Superposisi.....	133
Gambar 81.	Contoh Single-Line Diagram Sistem Tenaga Listrik	135
Gambar 82.	Contoh Penggambaran Diagram Reaktansi untuk Gangguan Simetris 3 Fasa	135
Gambar 83.	Contoh Perhitungan Rangkaian Ekuivalen Pemodelan STL untuk Gangguan Simetris 3 Fasa	136
Gambar 84.	Contoh Perhitungan Penyederhanaan Rangkaian Ekuivalen untuk Gangguan Simetris 3 Fasa.....	136
Gambar 85.	Sumber Gangguan Berdasarkan Komponen STL [14]	140
Gambar 86.	Perbedaan Arus Simetris dan Arus Asimetris pada saat Terjadi Gangguan	141
Gambar 87.	Grafik Berbagai Arus Pemutus Tenaga.....	143

DAFTAR TABEL

Table 1. Urutan Jala-jala dengan Berbagai Jenis Pentanahan
pada Komponen STL.....92

Table 2. Faktor Pengali berdasarkan Standar ANSI [30].....146

Table 3. Faktor Pengali untuk Generator dan Motor [30]...146



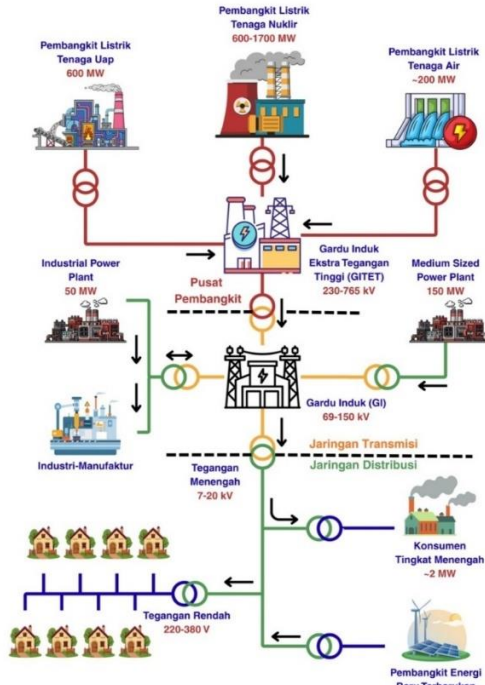
01.

PENGANTAR SISTEM TENAGA LISTRIK

1.1 Sistem Tenaga Modern

1.1.1 Definisi Sistem Tenaga Listrik

Electrical Power System atau **Sistem Tenaga Listrik** (STL) merupakan sistem yang terdiri dari pelbagai komponen STL yang saling berkaitan dan berfungsi untuk membangkitkan, mengatur, mentransmisikan, serta mendistribusikan daya listrik dari pusat pembangkit hingga ke konsumen (beban) secara andal, efisien, stabil, dan ramah lingkungan [1].



Gambar 1. Representasi Sistem Tenaga Listrik

Seperti tampak pada **Gambar 1**, berbagai jenis pusat pembangkit seperti pembangkit tenaga termal berbahan bakar fosil-uap, pembangkit tenaga nuklir, pembangkit tenaga air dan pembangkit energi baru terbarukan dihubungkan secara paralel ke STL. Tujuannya, selain untuk meningkatkan kapasitas daya pembangkitan, juga untuk menjaga keandalan sistem serta memudahkan proses sinkronisasi antar pusat pembangkit STL [1].

Pada umumnya, pusat pembangkit listrik terletak jauh dari daerah pemukiman dan pusat beban. Oleh karena itu, diperlukan sistem transmisi jarak jauh. Untuk meminimalkan

rugi daya (*power losses*) dan mengoptimalkan desain penghantar daya, tegangan listrik perlu dinaikkan ke tegangan tinggi, yaitu sekitar 230-765 kV dengan menggunakan transformator daya *step-up*.

Selanjutnya, terdapat gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET) yang berfungsi sebagai titik penurunan tegangan dari sistem transmisi, yaitu dari 230-765 kV menjadi sistem gardu induk dengan tingkat tegangan sekitar 69-150 kV. Selain sebagai penurun tegangan, GITET juga berperan sebagai pusat penghubung antarjaringan, pengaturan aliran daya, serta sistem proteksi tenaga listrik. Pada tahap transmisi ini, sebagian daya listrik dapat langsung disalurkan ke beban berskala besar, seperti kawasan industri dan manufaktur.

Aliran daya dari sistem transmisi selanjutnya diturunkan tegangannya melalui gardu induk (GI) distribusi hingga mencapai level sekitar 7-20 kV. Penurunan tegangan ini bertujuan untuk menyesuaikan tingkat tegangan dengan kebutuhan beban serta meningkatkan efisiensi penyaluran daya. Pada level tegangan ini, energi listrik umumnya dimanfaatkan oleh beban skala menengah, seperti kawasan industri menengah dan gedung-gedung komersial berskala besar.

Tahap akhir dari sistem penyaluran tenaga listrik adalah penurunan tegangan hingga mencapai level tegangan rendah, yaitu sekitar 220-380 V, melalui transformator distribusi. Tegangan pada level ini digunakan untuk melayani beban konsumen akhir, seperti rumah tangga, perkantoran, dan berbagai fasilitas umum.

1.1.2 Gambaran Umum Sistem Tenaga di Indonesia



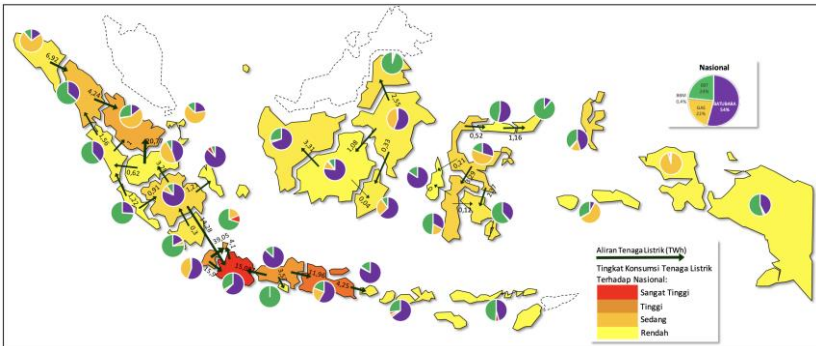
Gambar 2. Contoh STL Jawa-Madura-Bali (JAMALI) [2]

Salah satu sistem ketenagalistrikan di Indonesia yang dapat dijadikan sebagai model untuk memahami sistem tenaga listrik adalah Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali (JAMALI), sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 2**. Sistem ini merupakan sistem interkoneksi berskala besar yang terhubung melalui jaringan Saluran Udara Ekstra Tegangan Tinggi (SUTET) 500 kV. Komposisi pembangkit pada sistem JAMALI didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), serta Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Sementara itu, kontribusi pembangkit energi surya (*photovoltaic*/PV) masih relatif terbatas, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terapung Cirata di Jawa Barat [2].

Secara geografis, pusat-pusat pembangkit dominan berada di wilayah pesisir, dengan kontribusi kapasitas terbesar berasal dari PLTU Paiton dan PLTU Suralaya, yang masing-masing menyumbang sekitar 20% dari total kapasitas sistem.

Penempatan GITET dan GI dirancang mengikuti sebaran pusat beban guna menjaga efisiensi penyaluran dan keandalan pasokan listrik.

Sebagai contoh, PLTU Tanjung Jati di Jepara pada awalnya hanya terhubung dengan GITET Ungaran. Namun, seiring dengan peningkatan kapasitas pembangkit, konektivitas sistem diperluas dengan menghubungkannya ke GITET Batang. Pengembangan jaringan ini dilakukan untuk menyeimbangkan distribusi beban serta meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem dalam menyediakan pasokan daya cadangan (*back-up*) saat terjadi gangguan maupun lonjakan kebutuhan beban.



Gambar 3. Laju Daya Sistem Kelistrikan di Indonesia [2]

Berdasarkan **Gambar 3**, berfokus pada peta di Jawa, sistem interkoneksi JAMALI menunjukkan bahwa wilayah Jawa Tengah berperan sebagai simpul utama dalam penyaluran daya listrik. Aliran daya dari Jawa Tengah terdistribusi ke dua arah, yaitu menuju Jawa Timur dan menuju wilayah Jawa Barat-DKI Jakarta. Pola ini mencerminkan fungsi

strategis Jawa Tengah sebagai penghubung antara pusat pembangkitan dan pusat beban dalam sistem JAMALI.

Wilayah Jawa Timur memiliki kapasitas pembangkitan besar yang berkontribusi terhadap suplai daya ke sistem, sementara wilayah Jawa Barat dan DKI Jakarta merupakan pusat beban utama dengan kebutuhan energi listrik yang tinggi. Melalui jaringan transmisi SUTET 500 kV, daya listrik dapat dialirkan secara andal dan efisien dari Jawa Tengah ke kedua wilayah tersebut sesuai dengan kondisi operasi sistem. Konfigurasi interkoneksi ini memungkinkan fleksibilitas aliran daya, sehingga keseimbangan antara pembangkitan dan beban dapat terjaga, serta keandalan sistem JAMALI tetap terpelihara meskipun terjadi perubahan beban atau gangguan pada salah satu *region*.

Jakarta Blackout

Padamnya listrik selama berjam-jam melanda Jakarta dan sekitarnya sejak Minggu siang, 4 Agustus 2019. PLN mengatakan pemadaman itu disebabkan oleh gangguan transmisi yang terjadi di Saluran Udara Tegangan Extra Tinggi (SUTET) 500 kV Ungaran-Pemalang.

Dampak Pemadaman



Aktivitas warga dan bisnis terganggu karena listrik padam selama lebih dari lima jam.



Banyak pelayanan umum terganggu bahkan terhenti, seperti ATM, jaringan data seluler dan Internet, pengatur lalu-lintas dan penerangan jalan.



Pelayanan berbasis aplikasi, seperti transportasi daring, terganggu.

Wilayah Terdampak

DKI Jakarta
Jawa Barat
Banten

Kronologi

11.45 WIB

Terjadi gangguan di sirkuit 1 dan 2 SUTET 500 kV Ungaran-Pemalang.

11.48 WIB

Gangguan transmisi di jaringan listrik Depok-Tasikmalaya. PLN terpaksa melakukan pemadaman karena di Suralaya Gas Turbin 1-6 mengalami *trip* dan Gas Turbin 7 dalam posisi *off*.

11.48-17.30 WIB

Pasokan listrik dari Jawa Timur dialihkan ke PLTA Saguling dan PLTA Cirata.

17.30 WIB

Listrik dialirkan dari Timur ke Barat melalui PLTU Suralaya secara bertahap.



Transportasi umum bertenaga listrik seperti KRL dan MRT tak bisa beroperasi.



Banyak SPBU tutup karena tak bisa melayani pembeli bahan bakar minyak.

Kondisi Terkini



PLN sudah berupaya maksimal untuk memulihkan aliran listrik. Sejak pukul 17.30 WIB, PLN sudah mengalirkan listrik ke Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) Balaraja yang menuju PLTU Suralaya dan GITET Gandul yang menuju PLTGU Muara Karang. Aliran listrik di DKI Jakarta dan sekitarnya berangsur pulih secara bertahap.



Hingga pukul 21.00 WIB, 19 GITET di Jakarta, Banten dan Jawa Barat sudah beroperasi kembali. Empat lainnya, yaitu GITET Kembangan, GITET Lestari Banten Energi, GITET Jawa 7 dan GITET Suralaya Baru belum menyala.



PLN mengatakan proses pemulihan tak bisa dilakukan serentak tetapi secara bertahap.

"Kami mohon maaf atas ketidaknyamanan kondisi pada hari ini. Saat ini semua upaya dikerahkan untuk me-recovery sistem Jawa-Bali secara keseluruhan, khususnya area Jawa Barat, Banten dan DKI."

Sripeni Inten Cahyani, Plt. Direktur Utama PLN



ANTARA NEWS

SUMBER ANTARA

GAMBAR SHUTTERSTOCK

RISET ILMHAM

GRAFIS/EDITOR ANTONS

Gambar 4. Studi Kasus: Blackout Sistem JAMALI pada Tahun 2019

[3]

Peristiwa pemadaman listrik massal (*blackout*) yang terjadi pada tahun 2019 (ditunjukkan pada **Gambar 4**) menunjukkan bahwa meskipun sistem transmisi 500 kV mampu meningkatkan efisiensi dan keandalan STL JAMALI, tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap jaringan SUTET juga menimbulkan konsekuensi operasional yang signifikan.

Dalam Dalam peristiwa tersebut, SUTET bagian utara Pemalang-Ungaran kehilangan redundansi karena salah satu sirkit sedang dalam tahap pemeliharaan, sementara sirkit lainnya mengalami gangguan hubung singkat ke tanah akibat kontak dengan pohon (gangguan *single-line-to-ground*). Kondisi ini menyebabkan SUTET bagian selatan tidak mampu menopang suplai daya sesuai dengan kebutuhan beban sistem. Akibatnya, frekuensi sistem interkoneksi turun melewati batas operasi yang diizinkan, sehingga memicu pelepasan beban (*load shedding*) serta bekerjanya sistem proteksi pada sejumlah unit pembangkit. Rangkaian kejadian ini menyebabkan terjadinya pemisahan sistem (*islanding*) pada beberapa pembangkit, sehingga *blackout* tidak dapat dihindari.

Oleh karena itu, kajian **analisis sistem tenaga** listrik menjadi sangat penting untuk memastikan STL dapat beroperasi secara andal, efisien, dan stabil. Analisis ini berfokus pada penentuan parameter-parameter penting sistem tenaga serta memastikan seluruh komponen beroperasi dalam batas aman yang diizinkan.

Dalam perhitungan analisis, sistem tenaga listrik umumnya diasumsikan beroperasi dalam kondisi seimbang dan direpresentasikan menggunakan model satu fasa (*single-line diagram*) untuk menyederhanakan analisis. Analisis aliran

daya tidak hanya dimanfaatkan untuk keperluan perencanaan dan operasi sistem, tetapi juga digunakan dalam *economic scheduling*, evaluasi pertukaran daya antar utilitas, serta kajian stabilitas transien dan kondisi kontingensi.

Dengan analisis yang tepat, operator sistem (*dispatcher*) dapat mengambil keputusan operasional yang optimal untuk menjaga kontinuitas pasokan, efisiensi penyaluran daya, dan stabilitas sistem tenaga secara keseluruhan.

1.2 Komponen Sistem Tenaga Modern

Komponen utama pada sistem tenaga listrik modern meliputi pembangkit listrik, saluran transmisi, gardu induk, jaringan distribusi, beban listrik, sistem proteksi dan alat ukur, serta pusat pengendali daya atau *dispatcher* [4], [5].

1.2.1 Pusat Pembangkit Tenaga Listrik

Power Station atau **Pusat Pembangkit Tenaga Listrik** merupakan salah satu komponen utama dalam STL yang berfungsi sebagai sumber energi listrik. Pada tahap ini, energi dari berbagai sumber energi primer dikonversi menjadi energi listrik melalui proses pembangkitan. Pusat pembangkit dapat berupa generator tiga fasa konvensional maupun teknologi modern seperti *photovoltaic* dan *fuel cell*, bergantung pada jenis sumber energi yang digunakan. Secara umum, pembangkit tenaga listrik diklasifikasikan menjadi pembangkit konvensional yang memanfaatkan energi fosil atau tidak terbarukan, serta pembangkit non-konvensional yang menggunakan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan dengan ketersediaan yang berkelanjutan [4].



Gambar 5. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jawa-7, Suralaya, Banten dengan Kapasitas 2x1050 MW [6]

- a. Pembangkit tenaga listrik konvensional, meliputi:
 - 1) PLT Air (PLTA)
 - 2) PLT Uap (PLTU)
 - 3) PLT Gas (PLTG)
 - 4) PLT Diesel (PLTD)
 - 5) PLT Nuklir (PLTN)
 - 6) PLT Sampah (PLTSa)
- b. Pembangkit tenaga listrik non-konvensional, seperti:
 - 1) PLT Angin/Bayu (PLTB)
 - 2) PLT Surya (PLTS/*Photovoltaic*)
 - 3) PLT Panas Bumi (PLTP)
 - 4) PLT Pasang Surut Air Laut
 - 5) Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)
 - 6) *Magneto Hydro Dynamic*



Gambar 6. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terapung Cirata, Jawa Barat dengan Kapasitas 145 MWac/192 MWp [7]

Seperti ditunjukkan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**, perbedaan utama antara pembangkit listrik konvensional dan non-konvensional terletak pada sumber energinya, di mana pembangkit konvensional menggunakan energi fosil, sedangkan pembangkit non-konvensional memanfaatkan sumber energi terbarukan.

1.2.2 Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Saluran Transmisi Tenaga Listrik merupakan media penyalur energi listrik dari pusat pembangkit atau gardu induk menuju pusat beban atau wilayah lain yang berjarak relatif jauh. Sistem transmisi ini dioperasikan pada level tegangan tinggi hingga ekstra tinggi dengan tujuan menekan rugi-rugi daya serta meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik [4].

Komponen utama penyusunnya meliputi [4]:

- a. Kawat penghantar (konduktor) yang membawa arus listrik
 - 1) Menara transmisi (SUTT/SUTET) sebagai penyangga konduktor
 - 2) Isolator untuk mencegah arus bocor ke tanah
 - 3) Peralatan pendukung seperti sistem proteksi, peralatan pemutus (switchgear), alat ukur, dan perangkat pengendali maupun komunikasi.
 - 4) Berdasarkan jenis tegangan operasinya, saluran transmisi diklasifikasikan menjadi [4]:
- b. HVAC (*High Voltage Alternating Current*) dengan tegangan 70 kV, 150 kV, 275 kV, 500 kV, hingga 765 kV. HVDC (*High Voltage Direct Current*) dengan tegangan hingga 500 kV atau 1.000 kV untuk transmisi jarak sangat jauh dan efisiensi tinggi.



Gambar 7. SUTET Ungaran - Ngimbang/Krian SUTET 500 kV [8]

Gambar 7 merupakan SUTET Ungaran-Ngimbang/Krian 500 kV sebagai bagian interkoneksi sistem STL JAMALI, beberapa karakteristik diantaranya menggunakan konduktor ACSR tipe 4π per fasa dengan arus $\pm 4 \times 625 \text{ A}/\pi$, menara konstruksi tipe delta setinggi $\pm 80 \text{ m}$, dan dibangun dua tahap: Ungaran-Krian (1986-1990) dan Ungaran-Ngimbang (1993-1998).

1.2.3 Gardu Induk

Gardu induk berfungsi sebagai titik penghubung dan pemusatan tenaga listrik antara sistem transmisi dan sistem distribusi. Di dalam gardu induk terdapat berbagai peralatan utama, seperti transformator daya, busbar, pemutus tenaga (*circuit breaker*), sakelar pemisah (*disconnecting switch*), relai proteksi, serta *lightning arrester*, yang berperan dalam pengaturan tegangan, pengamanan sistem, dan pengendalian aliran daya. Selain itu, gardu induk juga dilengkapi dengan peralatan ukur, panel kontrol, serta sistem catu daya DC (baterai) untuk mendukung fungsi proteksi dan kendali, sehingga operasi sistem tenaga listrik dapat berlangsung secara andal dan aman [1].



Gambar 8. GITET Ampel 500 kV di Kabupaten Boyolali, Jawa Tengah [9]

Salah satu contoh GITET Ampel 500 kV di Boyolali (tampak pada **Gambar 8**) berfungsi memperkuat sistem transmisi JAMALI dan meningkatkan keandalan pasokan aliran listrik di Jawa Tengah melalui dua *inter-bus transformers* (IBT) berkapasitas masing-masing 500 MVA.

1.2.4 Saluran Distribusi



Gambar 9. Contoh Jaringan Distribusi Sistem Tenaga [10]

Saluran distribusi (**Gambar 9**) merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menghubungkan gardu induk dengan konsumen, sehingga energi listrik dapat sampai ke pengguna akhir. Distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi dua berdasarkan tingkat tegangannya [11][12]:

- a. Tegangan menengah (TM) - umumnya 7 kV atau 20 kV.
- b. Tegangan rendah (TR) - umumnya 127/220 V atau 220/380 V.

Jaringan distribusi tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu [12]:

- a. Transformator distribusi untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah.
- b. Tiang listrik dan isolator sebagai penyangga dan pelindung kabel penghantar.
- c. Kabel penghantar sebagai media penyalur arus listrik.
- d. Peralatan proteksi, seperti pemutus sirkuit, relai, *lightning arrester*, dan pentanahan untuk menjaga keamanan sistem.
- e. Peralatan ukur guna memantau kualitas besaran listrik.
- f. Peralatan *switching*, seperti saklar pemutus dan pemutus beban (*load break system*) untuk pengendalian jaringan.

1.2.5 Beban atau *Load*

Beban tenaga listrik merupakan bagian akhir dari sistem tenaga listrik yang menggunakan energi listrik untuk keperluan industri, komersial, maupun rumah tangga. Secara umum, beban tenaga listrik diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu beban industri, beban komersial, dan beban rumah tangga [1].

Beban industri berskala besar umumnya memperoleh suplai listrik secara langsung dari jaringan transmisi atau gardu induk, karena memerlukan daya yang besar serta tingkat kestabilan tegangan yang tinggi. Sementara itu, beban dengan kapasitas lebih kecil biasanya disuplai melalui jaringan distribusi primer. Adapun beban komersial dan rumah tangga pada umumnya dilayani oleh sistem distribusi primer maupun sekunder dengan level tegangan menengah hingga rendah.

Beban listrik dinyatakan dalam satuan watt (W), yang menunjukkan besarnya daya yang dikonsumsi oleh pengguna. Nilai beban ini tidak bersifat konstan, melainkan berubah seiring waktu sesuai dengan tingkat permintaan energi. Fluktuasi beban tersebut mencerminkan variasi aktivitas manusia dan kebutuhan energi di berbagai sektor, yang umumnya direpresentasikan dalam bentuk kurva beban harian.

1.2.6 Sistem Pendukung: Sistem Proteksi dan Alat Ukur

Sistem pendukung dalam jaringan tenaga listrik terdiri atas elemen utama yaitu sistem proteksi dan alat ukur. Keduanya bekerja menjaga kestabilan, keandalan, dan kontinuitas penyaluran daya listrik dari pembangkitan hingga ke konsumen [1].

Sistem proteksi berfungsi melindungi peralatan dan manusia dari bahaya akibat gangguan listrik, seperti arus lebih, hubung singkat, gangguan tanah, atau lonjakan tegangan. Sistem ini dirancang untuk mendeteksi dan memutus gangguan secara cepat, sehingga mencegah kerusakan lebih luas pada jaringan tenaga listrik. Komponen-komponen utama sistem proteksi pada STL meliputi [1]:

- a. Transformator instrumen, yaitu CT (*current transformer*) dan PT (*potential transformer*), yang berfungsi untuk mengukur besaran arus dan tegangan.
- b. Pemutus sirkuit (*circuit breaker*), yang secara otomatis memutus aliran arus ketika terdeteksi gangguan.

- c. Saklar pemutus sambungan (*disconnect switch*), digunakan untuk memisahkan peralatan dari sistem ketika dilakukan pemeliharaan.
- d. Sekering (*fuse*), sebagai pelindung dari arus lebih utamanya pada peralatan penting.
- e. Penangkal petir (*lightning arrester*), berfungsi melindungi sistem dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir atau surja hubung singkat.
- f. Pentanahan (*grounding*) berfungsi menetralkan beda potensial dan mengalirkan arus listrik berlebih atau kebocoran ke bumi.

Alat ukur berfungsi untuk memantau kondisi sistem secara *real-time* dan memastikan seluruh parameter listrik berada dalam batas operasi normal. Jenis alat ukur yang digunakan pada STL [1]:

- a. Amperemeter, untuk mengukur besar arus listrik.
- b. Voltmeter, untuk mengukur tegangan antar titik dalam sistem.
- c. Wattmeter dan kWh meter, untuk mengukur daya dan energi listrik yang dikonsumsi.
- d. *Power factor meter* dan *frequency meter*, untuk memantau faktor daya serta frekuensi sistem agar tetap stabil.

1.2.7 Pusat Pengendali Daya (Dispatcher Control Center)

Pusat pengendali daya atau *dispatcher control center* merupakan pengendalian operasi sistem tenaga listrik melalui pengaturan jadwal pembangkitan (*economic dispatcher*), koordinasi antara pembangkit dan gardu induk, studi kontingensi maupun pemeliharaan dengan tujuan efisiensi,

keandalan, serta optimalisasi aliran daya [1]. **Gambar 10** memperlihatkan JAMALI *dispatcher control center* (JCC) Jawa-Madura-Bali, Gandul, Cinere, Depok, Jawa Barat sebagai pusat pengaturan beban untuk sistem interkoneksi JAMALI.



Gambar 10. PLN Unit Induk Pusat Pengaturan Beban Jawa-Madura-Bali (PLN UIP2B JAMALI) [13]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Saadat, *Power system analysis*, vol. 2. McGraw-hill, 1999.
- [2] Husni Safruddin, Pramudya, Yeni Gusrini, H S Bayu Anggoro, Hasan Maksum, Febri F W Kusuma, Syifaul Barir, Wachid Marindra H S, Fajar Rahmadhy, Hari Dwi Wijayanto, dan Rahadian Wahyu Pradipta, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019 - 2038," Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Jakarta, Jan 2019. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/25eed-ruk-n-2019-2038-isbn.pdf
- [3] Antara News, "Jakarta Blackout," Antara News, Jakarta, 8 Mei 2019. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.antaranews.com/infografik/993788/jakarta-blackout>
- [4] H. Purnomo, "Analisis Sistem Daya I (Bagian Saluran Transmisi Daya Elektrik)," *Malang Fak. Tek. Univ. Brawijaya*, 2016.
- [5] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, dan G. B. Sheblé, *Power generation, operation, and control*. John wiley & sons, 2013.
- [6] PLN Nusantara Renewables, "PLTU Jawa 7 (2 x 1.050 MW)," Jakarta. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://ptplnnr.com/id/profile/portfolio/detail/pltu-jawa-7>
- [7] PLN Nusantara Renewables, "PLTS Terapung Cirata (145 MWac / 192 MWp)," Jakarta. Diakses: 30 Januari 2026.

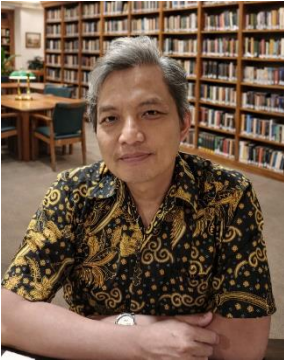
- [Daring]. Tersedia pada: <https://ptplnnr.com/id/profile/portfolio/detail/cirata-floating-pv>
- [8] PLN, “Pernyataan Kehendak PLN atas Kerangka Kerja Pembiayaan yang Berkelanjutan,” 2020. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2020/10/Statement-of-Intent-on-Sustainable-Financing-Framework.pdf>
- [9] PR Wire, “WIKA Rampungkan Proyek GITET Ampel, Sistem Kelistrikan Jawa-Bali Kini Semakin Andal,” Antara News, Jakarta, 16 Oktober 2025. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.antaranews.com/berita/5178849/wika-rampungkan-proyek-gitet-ampel-sistem-kelistrikan-jawa-bali-kini-semakin-andal>
- [10] Grahita Muhammad, “PLN Perluas Jaringan Distribusi, Warga Dusun Polay Situbondo Kini Teraliri Listrik PLN,” PT PLN (Persero), Situbondo, 10 April 2023. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2023/04/pln-perluas-jaringan-distribusi-warga-dusun-polay-situbondo-kini-teraliri-listrik-pln>
- [11] PLN, “Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik,” PT PLN (Persero), Jakarta, Desember 2014. Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://web.pln.co.id/statics/uploads/2017/05/BUKU_1_RUPTL_2015_2024.pdf
- [12] E. Kementrian, “Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik (Grid Code),” *Menteri Energi Dan Sumber Daya Min. Repub. Indones*, vol. 3, hlm. 417–607, 2020.
- [13] Sudarsono, “Kisah Petugas Dispatcher PLN yang Siap Siaga 24 Jam,” *RRI*, Jakarta, 26 Juli 2023. Diakses: 30

- Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://rri.co.id/lain-lain/297778/kisah-petugas-dispatcher-pln-yang-siap-siaga-24-jam>
- [14] J. J. Grainger, *Power system analysis*. McGraw-Hill, 1999.
- [15] R. C. Dugan, M. F. Mc Granaghan, S. Santoso, dan H. W. Beaty, "Electric power systems quality," 2004.
- [16] A. Pouriman, "Harmonics in Transmission Lines," 2021.
- [17] HyTEPS, "Spanningsonbalans." Diakses: 30 Januari 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://hyteps.nl/kennisbank/spanningsonbalans/>
- [18] K. Webb, "Energy Distribution Systems," dipresentasikan pada Oregon State University, 2021.
- [19] Rifky Syofiadi, "Beroperasi Lebih 100 Tahun, PLTA Bangkok Jadi Bukti Perjalanan Panjang PLN Gunakan EBT," PT. PLN (Persero). [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2024/09/beroperasi-lebih-100-tahun-plta-bangkok-jadi-bukti-perjalanan-panjang-pln-gunakan-ebt/>
- [20] I. Boldea, *Synchronous generators*. CRC press, 2005.
- [21] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, dan S. D. Umans, *Electric machinery*. McGraw-Hill, 2003.
- [22] Brandon Rost, "Everything You Need to Know About Electrical Transformers," NORTH CENTRAL ELECTRIC. [Daring]. Tersedia pada: <https://ncetest.com/everything-you-need-to-know-about-electrical-transformers/>
- [23] Ahmad Hidayat, "Sutet 500 kV Balaraja-Kembangan ,Proyek Prioritas untuk Keandalan Listrik Jawa – Bali." [Daring]. Tersedia pada: <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2020/02/sutet-500-kv-balaraja->

kembangan-proyek-prioritas-untuk-keandalan-listrik-jawa-bali/

- [24] D. Woodford, L. Barthold, L. Oprea, S. Ullrich, dan A. Fuchs, "Determination of voltage stress in case of operation of a hybrid HVAC/HVDC transmission line," *Spec. Issue Pap. 11th Int. Conf. Power Syst. Transients IPST*, vol. 138, hlm. 131–137, Sep 2016, doi: 10.1016/j.epsr.2016.04.011.
- [25] S. J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals," 2004.
- [26] A. Draz, M. M. Elkholy, dan A. A. El-Fergany, "Slime mould algorithm constrained by the relay operating time for optimal coordination of directional overcurrent relays using multiple standardized tripping curves," *Neural Comput. Appl.*, vol. 33, no. 18, hlm. 11875–11887, 2021.
- [27] S. Jamali, S. Ranjbar, dan A. Bahmanyar, "Identification of faulted line section in microgrids using data mining method based on feature discretisation," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 6, hlm. e12353, 2020.
- [28] J. D. Glover, M. S. Sarma, T. J. Overbye, dan N. Padhy, *Power system analysis and design*, vol. 2008. Cengage Learning Stamford, CT, USA, 2012.
- [29] Hidayat, M. N., "Sistem Per Unit & Model Sistem," Politeknik Negeri Malang, 2017.
- [30] A. H. V. G. C. Breakers, "Rated on a symmetrical current basis," *IEEE Stand. C*, vol. 37.

PROFIL PENULIS



Prof. Ir. Mohammad Noor Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D., lahir di Malang, Jawa Timur. Beliau adalah dosen di Politeknik Negeri Malang yang memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 1998 dari Universitas Brawijaya Indonesia, Master of Science (MSc) pada tahun 2006 dari University of Strathclyde Glasgow UK, dan Doctor of Philosophy pada tahun 2015 dari University of Bath UK. Bidang penelitiannya adalah sistem tenaga listrik, sistem energi baru terbarukan, serta sistem manajemen energi. Beliau telah menerbitkan 4 buku di bidang Teknik tenaga listrik, lebih kurang 100 artikel jurnal nasional dan internasional, termasuk artikel prosiding seminar nasional dan internasional, serta memiliki 15 Hak Kekayaan Intelektual.



Asfari Hariz Santoso, S.T., M.T., lahir di Malang, Jawa Timur. Beliau adalah dosen di Politeknik Negeri Malang yang memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada tahun 2014 dan Magister Teknik (M.T.) pada tahun 2018 dari Departemen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. Bidang penelitiannya adalah sistem penggerak listrik dan energi terbarukan. Beliau telah menerbitkan lebih dari 15 makalah konferensi atau artikel jurnal.



Rhezal Agung Ananto, S.T., M.T., lahir di Malang Jawa Timur Indonesia, beliau adalah dosen di Jurusan Teknik Elektro di Politeknik Negeri Malang. Menempuh Pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (lulus tahun 2015) dan S2 di Universitas Indonesia (lulus tahun 2018). Mengajar di Sistem Kelistrikan, meliputi Analisis Sistem tenaga listrik, Gardu Induk, pemodelan computer dalam system tenaga listrik dan telah menerbitkan beberapa artikel ilmiah di jurnal sinta, conference IEEE dan buku.



Ariq Kusuma Wardana, S.T., M.T., lahir di Jombang pada tanggal 26 Mei 1998. Beliau adalah dosen di Politeknik Negeri Malang yang memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di bidang Teknik Elektro dari Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pada tahun 2020, dan gelar Magister Teknik (M.T.) di bidang Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, pada tahun 2022. Bidang penelitiannya meliputi *Energy Storage* dan *Power Electronics*.

Analisis Sistem Tenaga: Teori dan Contoh Perhitungan merupakan referensi komprehensif yang dirancang untuk menjawab tantangan kompleksitas sistem tenaga listrik modern. Buku ini menyelaraskan prinsip dasar teoritis dengan implementasi teknis di lapangan, menjadikannya literatur wajib bagi mahasiswa, peneliti, dan praktisi teknik elektro.

Pembahasan disusun secara terstruktur, diawali dengan penguatan materi terkait pembangkitan dan penyaluran daya, hingga pemodelan sistem tenaga listrik terkini. Fokus utama buku ini adalah memberikan kemudahan dalam kalkulasi teknis melalui metode:

- Sistem Per-Unit (PU): Menyederhanakan analisis jaringan yang kompleks.
- Komponen Simetris: Menganalisis gangguan tidak seimbang dengan akurasi tinggi.
- Analisis Hubung Singkat & Proteksi: Memberikan panduan praktis dalam menghitung arus gangguan serta menentukan spesifikasi *Circuit Breaker* yang tepat.

Dengan pendekatan berbasis penyelesaian soal langkah-demi-langkah, buku ini memastikan pembaca mampu memprediksi perilaku sistem tenaga secara presisi dan saintifik.