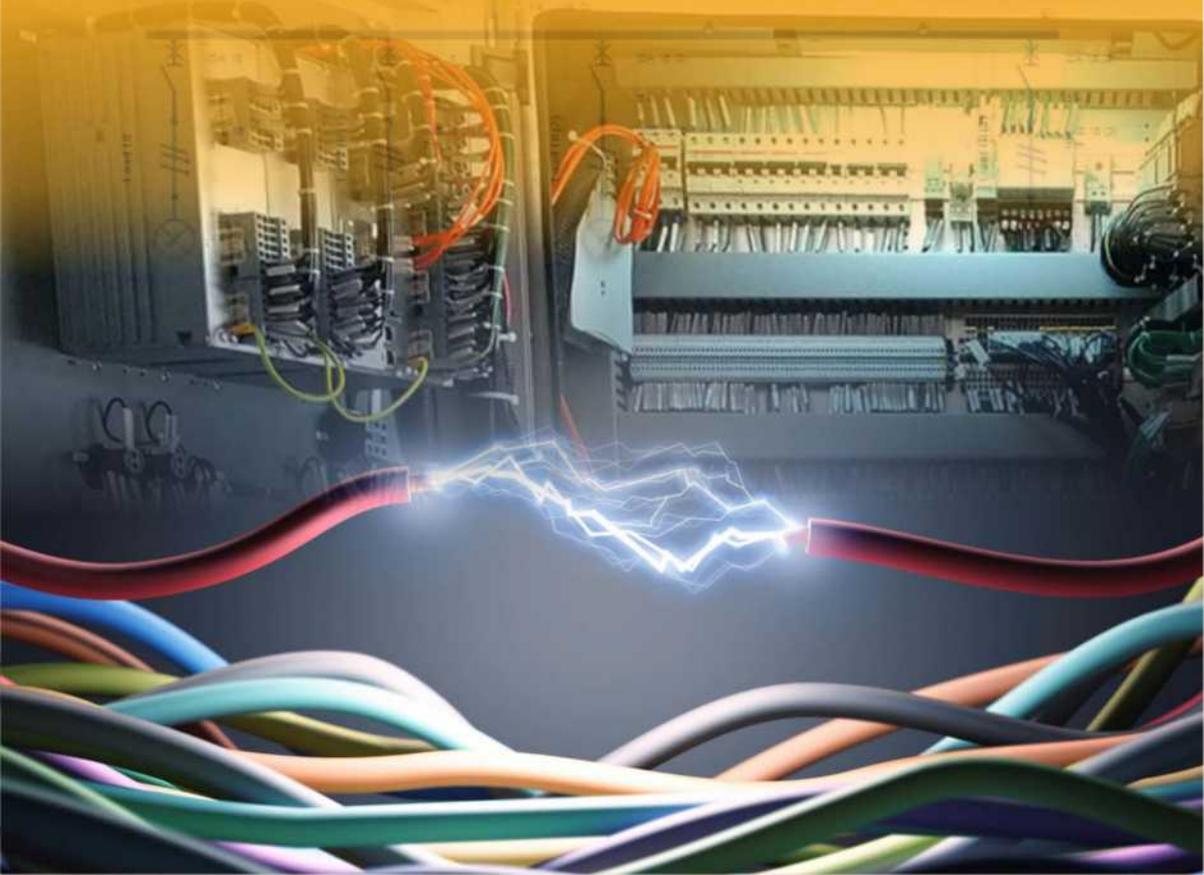


EDY SUPRIYADI
TOTO SUKISNO
ALEX SANDRIA JAYA WARDHANA
RENALDO RIZQI YANUAR



PROTEKSI TENAGA LISTRIK

Konsep dan Aplikasinya



PROTEKSI TENAGA LISTRIK

Konsep dan Aplikasinya

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 28 TAHUN 2014
TENTANG HAK CIPTA

Pasal 2

Undang-Undang ini berlaku terhadap:

- a. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait warga negara, penduduk, dan badan hukum Indonesia;
- b. semua Ciptaan dan produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia yang untuk pertama kali dilakukan Pengumuman di Indonesia;
- c. semua Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dan pengguna Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait bukan warga negara Indonesia, bukan penduduk Indonesia, dan bukan badan hukum Indonesia dengan ketentuan:
 1. negaranya mempunyai perjanjian bilateral dengan negara Republik Indonesia mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait; atau
 2. negaranya dan negara Republik Indonesia merupakan pihak atau peserta dalam perjanjian multilateral yang sama mengenai perlindungan Hak Cipta dan Hak Terkait.

BAB XVII
KETENTUAN PIDANA

Pasal 112

Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (3) dan/atau Pasal 52 untuk Penggunaan Secara Komersial, dipidana dengan pidana penjara paling lama 2 (dua) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp300.000.000,00 (tiga ratus juta rupiah).

- (1) 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 Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) 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 Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) 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 Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) 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 Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

PROTEKSI TENAGA LISTRIK

Konsep dan Aplikasinya

Edy Supriyadi
Toto Sukisno
Alex Sandria Jaya Wardhana
Renaldo Rizqi Yanuar



PROTEKSI TENAGA LISTRIK
Konsep dan Aplikasinya

Cetakan I, Desember 2022

Penyusun :
Edy Supriyadi
Toto Sukisno
Alex Sandria Jaya Wardhana
Renaldo Rizqi Yanuar

Desain Sampul :
Ngadimin

ISBN :
978-602-498-463-2

Diterbitkan oleh :

UNY Press

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Kompleks Fakultas Teknik UNY
Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp: 0274 – 589346

Mail: unypenerbitan@uny.ac.id

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)
Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)

Prakata

Alhamdulillah segala puji syukur kehadirat Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, setelah melalui proses penyusunan, buku dengan judul “Buku Proteksi Tenaga Listrik (Konsep dan Aplikasinya)” ini siap untuk digunakan sebagai bahan ajar atau bahan materi pembelajaran manajemen energi.

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk buku pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sekuensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi. Untuk itu “Buku Proteksi Tenaga Listrik (Konsep dan Aplikasinya)” ini sangat sesuai dan mudah dipelajari secara mandiri.

Penyusunan buku ini bertujuan untuk menyediakan bahan ajar berupa modul produktif sesuai dengan kompetensi dan kebutuhan. Materi yang ada pada modul ini akan berkembang jika pembaca bersedia menyampaikan kritikan, saran, serta masukan untuk perbaikan modul ini. Terima kasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan buku ini. Demikian, semoga kedepannya modul ini berguna dan lebih baik lagi.

Yogyakarta, September 2022

Tim Penulis

Daftar Isi

COVER.....	i
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xii

BAB I

PENGENALAN SISTEM TENAGA LISTRIK	1
A. Pengertian Sistem Tenaga Listrik.....	1
B. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	4
C. Proteksi Sistem Tenaga Listrik.....	5
D. Persyaratan Kualitas Proteksi	8

BAB II

PROTEKSI GENERATOR.....	11
A. Jenis – Jenis Generator.....	12
B. Komponen Generator	12
C. Jumlah Kutub pada Generator	14
D. Konversi Garis Gaya Magnet (GGM) Menjadi Gaya Gerak Listrik (GGL)	14
E. Klasifikasi Gangguan pada Generator	16
F. Sistem Proteksi pada Generator.....	19
G. Pengaman pada Generator.....	21

BAB III

PROTEKSI PADA JARINGAN TRANSMISI DAN DISTRIBUSI	31
A. Pengertian Saluran Transmisi.....	31
B. Masalah - Masalah Pada Sistem Transmisi	33
C. Proteksi pada Sistem Transmisi	34
D. Pengertian Sistem Distribusi	37
E. Level Tegangan Jaringan Distribusi Listrik	39
F. Klasifikasi Jaringan Distribusi	40

G. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	42
H. Pendistribusian Tenaga Listrik	43
I. Gangguan – Gangguan pada Sistem Distribusi	45
J. Proteksi pada Sistem Distribusi.....	47
K. Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	48
 BAB IV	
STUDI KASUS SISTEM PROTEKSI MENGGUNAKAN <i>SOFTWARE</i>	
ECODIAL	51
A. Analisis Arus Hubungsingkat	53
B. Analisis Koordinasi Proteksi	54
C. Analisisdrop Tegangan	55
D. Penggunaan Ecodial 4.8	55
E. Diagram Garis Tunggal (Single Line Diagram).....	58
F. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	60
G. Jaringan Distribusi.....	61
H. Jaringan Sistem Distribusi Primer	62
I. Jaringan Sistem Distribusi Sekunder.....	62
J. Membuat Diagram Garis Tunggal	64
 BAB V	
APLIKASI ECODIAL PADA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT	85
A. Diagram Garis Tunggal	90
B. Simulasi Gangguan Hubung Singkat	97
 BAB VI	
APLIKASI ECODIAL PADA GANGGUAN DROP TEGANGAN	101
 DAFTAR PUSTAKA	 119

Daftar Gambar

Gambar	1.1.	Rangkaian Sistem Tenaga Listrik	1
Gambar	1.2.	Diagram Sistem Tenaga dengan Daerah Proteksi Berlapis.....	9
Gambar	2.1.	Kumparan Stator	13
Gambar	2.2	Rotor.....	14
Gambar	2.3	Fluks Magnet.....	15
Gambar	2.4	Prinsip Kerja Relay Differential	21
Gambar	2.5.	Relay Differential	22
Gambar	2.6.	Pengaman Stator ke Tanah.....	22
Gambar	2.7.	Relay Tegangan Lebih.....	23
Gambar	2.8.	Relai Arus Balik.....	23
Gambar	2.9.	Relay Gangguan Rotor Hubung Tanah.....	24
Gambar	2.10.	Relay Arus Lebih.....	25
Gambar	2.11	Relay Impedansi	26
Gambar	2.12	Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor	26
Gambar	2.13.	Relay Kehilangan Sinkronisasi.....	27
Gambar	3.1.	Jaringan Transmisi.....	31
Gambar	3.2.	Sistem Saluran Transmisi Tiga-Fasa dan Empat-Fasa	32
Gambar	3.3.	Diagram Blok Relay Proteksi	36
Gambar	3.4.	Rangkaian Proteksi Relay	36
Gambar	3.5.	Sistem Penyaluran Tenaga Listrik.....	38
Gambar	3.6.	Saluran Konfigurasi Delta	41
Gambar	3.7.	Pembagian / Pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik	43
Gambar	3.8.	Ilustrasi Penyebab Gangguan pada Jaringan Distribusi	45
Gambar	3.9.	Skema Sambaran Petir yang dialihkan Arrester ke Tanah	48
Gambar	3.10.	Jaringan Radial Single	49
Gambar	3.11.	Jenis Gangguan Hubung Singkat	50
Gambar	4.1.	Gambar Icon Ecodial	55
Gambar	4.2.	Gambar Registrasi Lisensi	55
Gambar	4.3.	Tampilan Beranda Ecodial 4.8	56
Gambar	4.4.	Display Mask The Components.....	56
Gambar	4.5.	Diagram Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik....	61
Gambar	4.6.	Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer.....	62

Gambar	4.7.	Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah dan Konsumen	63
Gambar	4.8.	Single Line Diagram dan Spesifikasi Komponen	66
Gambar	4.9.	Icon Ecodial	66
Gambar	4.10.	Tampilan Beranda Ecodial 4.8	67
Gambar	4.11.	Tampilan Project Parameters	68
Gambar	4.12.	Display Mask The Components	68
Gambar	4.13.	Menu Source	70
Gambar	4.14.	Setting MV Sourve	71
Gambar	4.15.	Setting Transformator	71
Gambar	4.16.	MV/ LV Transformer	72
Gambar	4.17.	Setting Cable	73
Gambar	4.18.	Setting Cable in select a Cable	74
Gambar	4.19.	Setting Circuit Breaker	75
Gambar	4.20.	Setting Busbars	76
Gambar	4.21.	Setting Feeder Circuit	77
Gambar	4.22.	Setting cable in select a cable	78
Gambar	4.23.	Setting Setting Busbars	79
Gambar	4.24.	Setting Beban Lampu di Titik C	80
Gambar	4.25.	Setting Beban Lampu di Titik C, D, E, G	81
Gambar	4.26.	Setting Beban Passive Load	82
Gambar	4.27.	Calculate Project.	83
Gambar	5.1.	Jenis Gangguan Hubung Singkat	86
Gambar	5.2.	Soal Gangguan Arus Hubung Singkat	88
Gambar	5.3.	Satu Garis Jaringan Listrik	91
Gambar	5.4.	Gambar Single Line Diagram	92
Gambar	5.5.	Setting Transformator	92
Gambar	5.6.	Setting Cable	94
Gambar	5.7.	Setting Cable in select a Cable	94
Gambar	5.8.	Setting Beban Lampu	95
Gambar	5.9.	Setting Pasive Load	96
Gambar	5.10.	Status Bar	97
Gambar	5.11.	Alarm Message	97
Gambar	5.12.	Alarm Message	97
Gambar	5.13.	SLD pada Titik A untuk Simulasi Drop Tegangan	98
Gambar	5.14.	Short Circuit Current	99
Gambar	6.1.	Contoh Soal Drop Tegangan	105
Gambar	6.2.	Gambar Satu Garis Jaringan Listrik	108
Gambar	6.3.	Gambar Single Line Diagram	109

Gambar	6.4.	Setting Transformator	110
Gambar	6.5.	Setting cable	111
Gambar	6.6.	Setting Cable in select a Cable	112
Gambar	6.7.	Setting Beban Lampu	113
Gambar	6.8.	Setting Pasive Load.....	114
Gambar	6.9.	Status Bar	114
Gambar	6.10.	Alarm Message	114
Gambar	6.11.	Alarm Message	115
Gambar	6.12.	SLD pada Titik A untuk Simulasi Drop Tegangan	115
Gambar	6.13.	Drop Tegangan pada Tab Details.....	116

Daftar Tabel

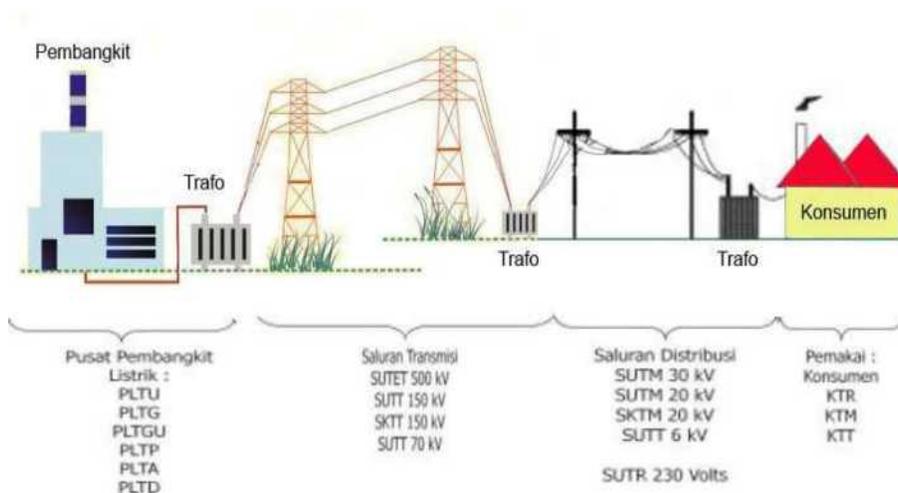
Tabel 2.1.	Macam-macam Relai Proteksi Generator dan Fungsinya	28
Tabel 4.1.	Jenis Pengaman dalam Software Ecodial	52
Tabel 4.2.	Macam-Macam Simbol dalam Software Ecodial	59
Tabel 4.3.	Karakteristik Umum dalam Software Ecodial	60
Tabel 5.1.	Nilai Reaktansi dan Resistansi pada Upstream	87
Tabel 5.2.	Keterangan Untuk simbol Arus Hubung Singkat.....	99
Tabel 5.3.	Perbandingan Hubung Singkat Ecodial 4.8 INT Terhadap Perhitungan Manual	100
Tabel 6.1.	Rumus Drop Tegangan :.....	102
Tabel 6.2.	Nilai K untuk drop tegangan (ΔU).....	104
Tabel 6.3.	Simbol Drop Tegangan.....	116
Tabel 6.4.	Perbandingan Jatuh Tegangan Terhadap Perhitungan Manual.....	117

BAB I

PENGENALAN SISTEM TENAGA LISTRIK

A. Pengertian Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik terdiri atas komponen tenaga listrik yaitu pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi. Ketiga bagian ini merupakan bagian utama pada suatu rangkaian sistem tenaga listrik yang bekerja untuk menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban. Rangkaian sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar di bawah berikut:



Gambar 1.1 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik

Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi

akan sampai ke konsumen. Berikut ini penjelasan mengenai bagian utama pada sistem tenaga listrik pada umumnya, yaitu:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*powerplant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal (*primemover*) dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk.

Peralatan utama pada gardu induk antara lain: transformer, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit *hidro* yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan pembangkit *thermal* diantaranya yaitu PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pusat Listrik Tenaga GasUap).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber pembangkit menuju sistem distribusi. Desain saluran transmisi tergantung pada jumlah daya yang harus disalurkan, jarak, jalur yang harus dilalui, biaya yang tersedia, dan pertumbuhan beban di masa yang akan datang. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain saluran transmisi, antara lain: pemilihan tegangan, pemilihan jenis kawat, pemilihan sistem pelindung terhadap gangguan, kontinuitas penyaluran tenaga listrik, dan pembebasan tanah yang dilalui. Tegangan tinggi dan ekstra tinggi yang digunakan di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV, 275 kV, dan 500 kV. Sistem transmisi terdiri atas 3 bagian, yaitu saluran transmisi, gardu induk, dan pusat pengaturan beban.

Komponen utama dalam sistem transmisi, meliputi konduktor, isolator, dan struktur pendukung. Jenis-jenis konduktor dalam desain sistem transmisi yang digunakan meliputi:

- Kawat tembaga (BCC = *Bare Copper Cable*)

- Alumunium (AAC = *Alluminium Cable*)
- Campuran alumunium dan Baja (ACSR = *Alluminium Cable Steel Reinforced*)
- Alumunium puntir berisolasi (*Twisted Wire*)
- Kawat baja, biasanya dipakai pada kawat petir dan kawat pentanahan.

Berdasarkan jarak antar gardu induk transmisi, saluran transmisi dibagi menjadi 3 yaitu saluran pendek, saluran menengah, dan saluran panjang.

1. Saluran Pendek: Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi <80 km (50 mil).
2. Saluran Menengah: Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi 80 km – 250 km (50 - 150 mil).
3. Saluran Panjang: Saluran transmisi dikatakan saluran pendek apabila panjang saluran transmisi diatas 250 km (>150 mil).

3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini adalah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pengguna listrik dan pada umumnya berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi. Gardu induk distribusi ada yang berada di ujung saluran transmisi, yang berfungsi mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sekaligus menurunkan tegangan dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Gardu induk juga ada yang berada di antara jaringan distribusi yang berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah. Berdasarkan jenis pemasangannya gardu distribusi terdapat dua jenis yaitu gardu pasang luar dan gardu pasang dalam.

Gardu distribusi pasang luar umumnya disebut gardu portal untuk konstruksi 2 tiang dan gardu cantol untuk konstruksi 1 tiang, masing-masing dengan kapasitas transformator terbatas. Gardu portal terdiri atas FCO (*fused cut out*) dan LA (*lightning arrester*). FCO berfungsi sebagai pengaman hubung singkat trafo dengan elemen

pelebur (*fuse link*) type *Expulsion*. LA berfungsi sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Gardu distribusi pasang dalam umumnya disebut gardu beton (*masonry wall distribution substation*) dengan kapasitas transformator besar. Pemasangan jenis ini dipakai untuk daerah padat beban tinggi.

Jaringan distribusi tegangan menengah biasanya menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat dengan tegangan antara fasa dengan tanah (netral) 20 kV. Jaringan distribusi merupakan penghubung antar gardu induk tegangan menengah atau yang menghubungkan gardu induk tegangan menengah dengan trafo distribusi tegangan rendah. Jaringan tegangan rendah ada yang menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat untuk beban-beban yang relatif besar.

Beban yang relatif kecil termasuk beban rumah tangga lebih banyak menggunakan satu fase 2 kawat dengan tegangan 220 volt dari fasa ke netral. Dalam prakteknya, trafo tegangan yang digunakan mempunyai tiga terminal output, yaitu satu netral yang juga dihubungkan ke tanah dan dua terminal fasa yang mempunyai tegangan sama 220 volt.

Bila jaringan tegangan rendah dan jaringan tegangan menengah menggunakan tiang yang sama maka kawat penghantar yang digunakan cukup satu saja, sebagai kawat netral kedua sistem tersebut. Untuk pelanggan yang menggunakan cukup besar, misalnya industri, rumah sakit atau kampus biasanya berlangganan dengan tegangan menengah 20 kV. Untuk kepentingan menurunkan tegangan dan pendistribusiannya pihak pelanggan mengelola gardu induk sendiri.

B. Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu: (1) gangguan yang berasal dari sistem; (2) gangguan yang berasal dari luar sistem. Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara

lain (a) Tegangan dan arus abnormal; (b) pemasangan yang kurang baik; (3) kesalahan mekanis karena proses penuaan; (c) beban lebih; (d) kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya. Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain: (a) gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi untuk sistem kelistrikan bawah tanah; (b) pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*breakdown*); (c) pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Apabila ditinjau dari segi lamanya waktu gangguan, maka dapat dikelompokkan menjadi: (1) gangguan yang bersifat temporer, merupakan gangguan yang dapat diatasi dengan cara memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat diatasi dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen; dan (2) gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan dilakukan tindakan perbaikan dan/atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

Gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalir arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diizinkan, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

C. Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu

sistem tenaga misalnya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi tidak normal operasi sistem itu sendiri. Kondisi tidak normal itu dapat berupa: hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah.

Berikut ini beberapa fungsi dari proteksi: (1) Untuk menghindari ataupun untuk mengurangi kerusakan peralatan-peralatan akibat gangguan (kondisi abnormal operasi sistem). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan kepada kemungkinan kerusakan alat; (2) Untuk cepat melokalisir luas daerah terganggu menjadi sekecil mungkin; (3) Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumsi dan juga mutu listrik yang baik; (4) Untuk mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Pengetahuan mengenai arus-arus yang timbul dari berbagai tipe gangguan pada suatu lokasi merupakan hal yang sangat esensial bagi pengoperasian sistem proteksi secara efektif. Jika terjadi gangguan pada sistem, para operator yang merasakan adanya gangguan tersebut diharapkan segera dapat mengoperasikan circuit-circuit yang tepat untuk mengeluarkan sistem yang terganggu atau memisahkan pembangkit dari jaringan yang terganggu. Sangat sulit bagi seorang operator untuk mengawasi gangguan-gangguan yang mungkin terjadi dan menentukan CB mana yang diperoperasikan untuk mengisolir gangguan tersebut secara manual.

Mengingat arus gangguan yang cukup besar, maka perlu secepat mungkin dilakukan proteksi. Hal ini perlu suatu peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keadaan-keadaan yang tidak normal tersebut dan selanjutnya menginstruksikan circuit- circuit yang tepat untuk bekerja memutuskan rangkaian atau sistem yang terganggu dimana peralatan tersebut kita kenal dengan relay.

Ringkasnya proteksi dan tripping otomatis circuit-circuit yang sehubungan mempunyai dua fungsi pokok:

1. Mengisolir peralatan yang terganggu agar bagian-bagian yang lainnya tetap beroperasi seperti biasa.
2. Membatasi kerusakan peralatan akibat panas lebih (*overheating*), pengaruh gaya-gaya mekanik.

Koordinasi antara relay dan *circuit breaker* (CB) dalam mengamati dan memutuskan gangguan disebut sebagai sistem proteksi. Banyak hal yang harus dipertimbangkan dalam mempertahankan arus kerja maksimum yang aman. Jika arus kerja bertambah melampaui batas aman yang ditentukan dan tidak ada proteksi atau jika proteksi tidak memadai atau tidak efektif, maka keadaan tidak normal dan akan mengakibatkan kerusakan isolasi.

Pertambahan arus yang berlebihan menyebabkan rugi-rugi daya pada konduktor akan berlebihan pula. Perlu diingat bahwa pengaruh pemanasan adalah sebanding dengan kuadrat dari arus.

Proteksi harus sanggup menghentikan arus gangguan sebelum arus tersebut naik mencapai harga yang berbahaya. Proteksi dapat dilakukan dengan *sekring* atau *circuit breaker*. Proteksi juga harus sanggup menghilangkan gangguan tanpa merusak peralatan proteksi itu sendiri. Untuk ini pemilihan peralatan proteksi harus sesuai dengan kapasitas arus hubung singkat "*breaking capacity*" atau *repturing capacity*.

Disamping itu proteksi yang diperlukan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Sekering atau *circuit breaker* harus sanggup dilalui arus nominal secara terus menerus tanpa pemanasan yang berlebihan (*overheating*).
2. *Overload* yang kecil pada selang waktu yang pendek seharusnya tidak menyebabkan peralatan bekerja.
3. Proteksi harus bekerja walaupun pada *overload* yang kecil tetapi cukup lama sehingga dapat menyebabkan *overheating* pada rangkaian penghantar.
4. Proteksi harus membuka rangkaian sebelum kerusakan yang disebabkan oleh arus gangguan yang dapat terjadi.
5. Proteksi harus dapat melakukan "pemisahan" (*discriminative*) hanya pada rangkaian yang terganggu yang dipisahkan dari rangkaian yang lain yang tetap beroperasi.

Proteksi *overload* dikembangkan jika dalam semua hal rangkaian listrik diputuskan sebelum terjadi *over heating*. Jadi disini *overload action* relatif lebih lama dan mempunyai fungsi inverse terhadap kuadrat dari arus. Proteksi gangguan hubung singkat dikembangkan jika *action* dari sekering atau *circuit breaker* cukup cepat untuk membuka rangkaian

sebelum arus dapat mencapai harga yang dapat merusak akibat *overheating*, *arcing* atau ketegangan mekanik.

D. Persyaratan Kualitas Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif yaitu :

a) Selektivitas dan Diskriminasi

Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja

b) Stabilitas

Sifat yang tetap tidak operasi apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan luar).

c) Kecepatan Operasi

Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem selebihnya. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem-sistem tegangan tinggi adalah 140ms. Dimana pada waktu mendatang hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan relay dengan kecepatan yang sangat tinggi (*very high speed relaying*)

d) Sensitivitas (kepekaan)

Besarnya arus gangguan agar alat bekerja. Harga ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai prosentase dari arus sekunder (trafo arus).

e) Pertimbangan ekonomis

Dalam sistem aspek ekonomis hampir mengatasi aspek teknis, karena jumlah feeder, trafo dan sebagainya yang begitu banyak, asal persyaratan keamanan yang pokok telah dipenuhi. Dalam sistem-sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Sistem proteksi relatif mahal, demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem yang tidak kalah penting. Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (*back up*).

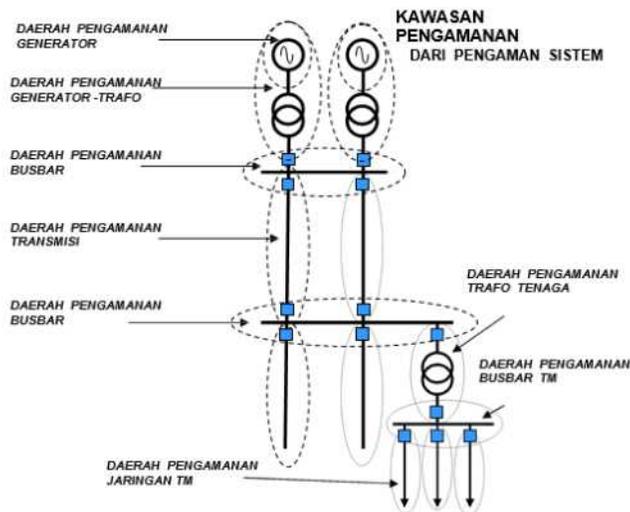
f) Realiabilitas (keandalan)

Sifat ini jelas, penyebab utama dari “outage” rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (*mal operation*).

g) Proteksi Pendukung

Proteksi pendukung (*back up*) merupakan susunan yang sepenuhnya terpisah dan yang bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu apabila proteksi utama tidak bekerja (*fail*). Sistem pendukung ini sedapat mungkin independen seperti halnya proteksi utama yang memiliki trafo dan rele tersendiri. Seringkali, hanya *tripping* CB dan trafo-trafo tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya.

Tiap-tiap sistem proteksi utama melindungi suatu area atau zona sistem daya tertentu. Ada kemungkinan suatu daerah kecil diantara zona-zona yang berdekatan misalnya antara trafo-trafo arus dan *circuit breaker* tidak dilindungi. Dalam keadaan seperti ini sistem *back up* (yang dinamakan *remote back up*) akan memberikan perlindungan karena berlapis dengan zona-zona utama seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 1.2. Diagram Sistem Tenaga dengan Daerah Proteksi Berlapis

Pada sistem distribusi aplikasi *backup* yang digunakan tidak seluas dalam sistem transmisi, hanya cukup mencakup titik-titik strategis saja.

Remote back up bereaksi lambat dan biasanya memutus lebih banyak rele dari yang diperlukan untuk mengeluarkan bagian yang terganggu.

BAB II

PROTEKSI GENERATOR

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator berfungsi untuk mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang mempunyai dasar prinsip kerja sebagai berikut, apabila rotor diputar maka belitan kawat akan memotong gaya-gaya magnet pada kutub magnet, sehingga terjadi beda potensial, dengan dasar inilah maka timbul arus listrik, kemudian arus listrik akan dialirkan melalui kabel atau kawat yang kedua ujungnya dihubungkan dengan cincin geser. Pada cincin-cincin tersebut menggeser sikat-sikat sebagai terminal penghubung keluar.

Prinsip dasar generator berdasarkan hukum Faraday yang berbunyi, "Bila dalam suatu medan magnet yang bergerak atau yang berputar maka suatu konduktor yang akan memotong garis-garis magnet dan akan timbul gaya gerak listrik pada konduktor tersebut".

Sebagai contoh prinsip dasar generator tersebut adalah sebagai berikut, "Apabila suatu generator digerakkan sejauh (ds), memotong kuat medan magnet (B) dengan fluks, maka perubahan fluks pada konduksi dengan panjang efektif (l) adalah sebagai berikut :

$$F = B \cdot I \cdot L$$

Terdapat dua jenis generator, yaitu generator arus bolak-balik (AC) dan generator arus searah (DC). Generator arus bolak-balik sering disebut juga dengan alternator. Alat ini terdiri atas magnet dengan kutub berbentuk cekung dan kumparan kawat yang dililitkan pada suatu armatur dan dapat berputar dalam suatu medan magnet. Armatur berupa kumparan persegi dengan lilitan mengitari sebuah inti besi lunak. Generator arus searah sering disebut juga dengan dinamo. Alat ini terdiri

atas magnet dan kumparan kawat yang dililitkan pada suatu armatur dan dapat berputar dalam suatu medan magnet. Perbedaannya dengan generator AC adalah pada bagian komponen yang berhubungan dengan ujung kumparan yang berputar. Dinamo menggunakan sebuah cincin belah atau disebut sebagai komutator, sedangkan generator AC menggunakan dua buah slip ring.

A. Jenis-Jenis Generator

Berikut ini beberapa klasifikasi dari generator:

1. Jenis generator berdasarkan letak kutubnya dibagi menjadi :
 - a. generator kutub dalam: generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).
 - b. generator kutub luar: generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator)
2. Jenis generator berdasarkan putaran medan dibagi menjadi :
 - a. generator sinkron
 - b. generator asinkron
3. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan
 - a. generator arus searah (DC)
 - b. generator arus bolak balik (AC)
4. Jenis generator dilihat dari fasanya
 - a. generator satu fasa
 - b. generator tiga fasa
5. Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya :
 - a. generator rotor kutub menonjol biasa digunakan pada generator dengan rpm rendah seperti PLTA dan PLTD
 - b. generator rotor kutub rata (silindris) biasa digunakan pada pembangkit listrik / generator dengan putaran rpm tinggi seperti PLTG dan PLTU

B. Komponen Generator

Generator tersusun atas beberapa bagian, yaitu:

1. Rangka Stator

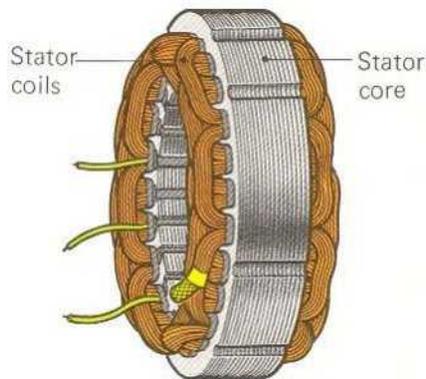
Berfungsi sebagai pemegang inti jangkar atau stator. Rangka stator terbuat dari elemen di dalam plat baja yang dipotong oleh pondasi plat beton.

2. Inti Stator

Inti stator berupa lempengan yang terbuat dari baja silikon. Lempengan-lempengan ini dilapisi dengan menggunakan peris tahan panas. Lempeng-lempeng diikat menjadi satu serta dilaminasi untuk mengurangi rugi-rugi akibat arus putar (*eddy current*).

3. Kumbaran Stator

Kumbaran stator dibuat dari tembaga dengan konduktivitas tinggi yang dililitkan dengan menyelubungi inti stator secara melingkar mengikuti alur pada inti stator (*stator core*). Berdasarkan gulungannya, kumbaran stator dibagi menjadi 2 jenis, yaitu gulungan lapis tunggal dan lapis ganda.



Gambar 2.1 Kumbaran Stator

4. Rotor

Jenis rotor yang di gunakan adalah *salient pole* rotor karena putaran rotor termasuk dalam kecepatan rendah. Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumbaran dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutuba diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi arus *Eddy*, kumbaran-kumbaran medannya terdiri atas bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang serta sumbunya pendek.

Selain itu jenis kutub salient pole, kutub magnetnya menonjol keluar dari permukaan rotor. Belitan-belitan medan dihubung seri. Ketika belitan medan ini disuplai oleh eksiter, maka kutub yang berdekatan akan

membentuk kutub yang berlawanan. Rotor dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menahan *run away speed turbin* dari putaran yang hanya 230.8 rpm.

Rotor kutub menonjol umumnya digunakan pada generator sinkron dengan kecepatan putaran rendah dan sedang (120-400 rpm). Rotor kutub menonjol baik digunakan untuk putaran rendah dan sedang karena :

- a. Konstruksi kutub menonjol tidak terlalu kuat untuk menahan tekanan mekanis apabila diputar dengan kecepatan tinggi.
- b. Kutub menonjol akan mengalami rugi-rugi yang besar dan bersuara bising jika diputar dengan kecepatan tinggi.



Gambar 2.2 Rotor

C. Jumlah Kutub pada Generator

Jumlah kutub generator arus bolak-balik tergantung dari kecepatan rotor dan frekuensi dari GGL yang dibangkitkan. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$F = p.n / 120$$

Keterangan:

F = frekuensi tegangan (Hz)

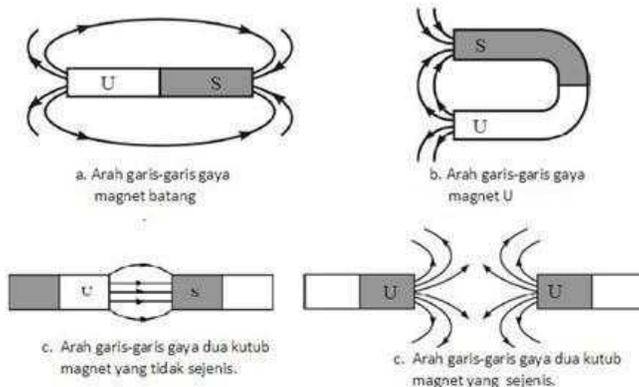
P = jumlah kutub pada rotor n = kecepatan rotor (rpm)

D. Konversi Gaya Magnet (GGM) menjadi Gaya Gerak Listrik (GGL)

Konversi energi baik dari energi listrik menjadi energi mekanik atau sebaliknya yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik berlangsung melalui medium medan magnet. Energi yang akan diubah dari satu sistem ke sistem lainnya akan tersimpan sementara pada

medium medan magnet kemudian dilepaskan menjadi energi sistem lainnya. Dengan demikian, magnet selain berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi juga sebagai medium untuk mengkopel proses perubahan energi.

Seperti yang diketahui bahwa tiap magnet memiliki kutub magnet yang berlawanan yaitu kutub utara dan selatan. Sama halnya dengan muatan listrik, kutub yang senama apabila didekatkan akan terjadi tolak menolak dan kutub yang berlawanan jika didekatkan akan terjadi tarik menarik. Ketika terjadi tolak-menolak atau tarik-menarik tersebut terdapat daerah medan magnet diantara kutub utara dan selatan. Medan magnet tersusun dari garis-garis yang keluar dari kutub utara menuju kutub selatan yang disebut garis gaya magnet (ggm), semakin kuat medan magnet maka semakin banyak pula garis gaya magnetnya. Jumlah garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara magnet disebut fluks magnet yang disimbolkan Φ_M dengan satuan internasional Weber (Wb) dimana 1 Weber = 10^8 garis gaya magnet.



Gambar 2.3 Fluks Magnet

Apabila garis gayamagnet (fluks) yang dihasilkan berubah-ubah terhadap waktu, maka suatu medan listrik akan dibangkitkan atau diinduksikan dan menghasilkan gaya gerak listrik(GGL) induksi, hubungan ini dinyatakan oleh Hukum Faraday yaitu “GGL induksi yang timbul antara ujung-ujung loop suatu penghantar berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar tersebut”

E. Klasifikasi Gangguan pada Generator

Secara teknis, terdapat beberapa macam gangguan yang mungkin terjadi pada generator pembangkit tenaga listrik. Gangguan pada generator pembangkit tenaga listrik tersebut dapat diklasifikasikan seperti berikut ini :

a. Gangguan Listrik

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik dari generator.

1. Hubung singkat 3 fasa

Akibat terjadinya hubungan singkat 3 fasa (*3 phase fault*) adalah terjadinya arus lebih pada stator. Gangguan ini akan menimbulkan loncatan bunga api dengan suhu yang tinggi yang akan melelehkan belitan dengan risiko terjadinya kebakaran, jika isolasi tidak terbuat dari bahan yang anti api (*non-flammable*).

2. Hubung singkat 2 fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa (*unbalance fault*) lebih berbahaya dibanding gangguan hubung singkat 3 fasa (*balance fault*), karena disamping akan terjadi kerusakan pada belitan akan timbul pula vibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah pada poros/shaft dan kopling turbin akibat adanya momen puntir yang besar.

3. Stator hubung singkat 1 fasa ke tanah (*stator ground fault*).

Kerusakan akibat gangguan 2 fasa atau antara konduktor kadang-kadang masih dapat diperbaiki dengan menyambung taping atau mengganti sebagian konduktor, tetapi kerusakan laminasi besi (*iron lamination*) akibat gangguan 1 fasa ke tanah yang menimbulkan bunga api dan merusak isolasi dan inti besi adalah kerusakan serius yang perbaikannya dilakukan secara total. Gangguan jenis ini meskipun kecil harus segera diproteksi.

4. Rotor hubung tanah (*field ground*)

Padarotor generator yang belitannya tidak dihubungkan oleh tanah (*ungrounded system*), bila salah satu sisi terhubung ke tanah belum menjadikan masalah. Tetapi apabila satu sisi terhubung ke tanah, sementara sisi lainnya tidak terhubung ke tanah maka akan terjadi kehilangan arus pada sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi

ketidakseimbangan fluksi yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan serta kerusakan fatal pada rotor.

5. Kehilangan medan penguat (*loss of excitation*)

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik, dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pada rotor dan pasak/slot wedges, akibat arus induksi yang bersirkulasi pada rotor. Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh (a) hubung singkat pada belitan penguat, (b) kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sisi penguat, (c) kerusakan pada sistem AVR.

6. Tegangan lebih (*over voltage*)

Tegangan yang berlebihan melampaui batas maksimum yang diizinkan dapat berakibat tembusnya (*breakdown*) design insulasi yang akhirnya akan menimbulkan hubungan singkat antara belitan. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh mesin putaran lebih (*overspeed*) atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis (AVR).

b. Gangguan Mekanik

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul atau terjadi akibat adanya gangguan mekanik dan panas pada generator, antara lain:

1. Generator berfungsi sebagai motor (*motoring*)

Motoring adalah peristiwa berubah fungsi generator menjadi motor akibat daya balik (*reverse power*). Daya balik terjadi disebabkan oleh turunnya daya masukan dari penggerak utama (*prime mover*). Dampak kerusakan akibat peristiwa motoring adalah lebih kepada penggerak utama itu sendiri. Pada turbin uap, peristiwa motoring akan mengakibatkan pemanasan lebih pada sudu-sudunya, kavitasi pada sudu-sudu turbin air, dan ketidak stabilan pada sudu turbin gas.

2. Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada sebagian stator dapat dimungkinkan oleh: (1) kerusakan laminasi; (2) kendornya bagian-bagian tertentu di dalam generator seperti: pasak-pasak stator (*stator wedges*).

3. Kesalahan paralel
Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros, kopling generator, dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul, kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.
4. Gangguan pendingin stator
Gangguan pada media sistem pendingin stator (pendingin dengan media udara, hidrogen, atau air) akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

c. Gangguan Sistem

Generator dapat terganggu akibat adanya gangguan yang terjadi pada sistem. Gangguan-gangguan sistem yang terjadi umumnya adalah:

1. Frekuensi operasi yang tidak normal (*abnormal frequency operation*)
Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat dimungkinkan oleh tripnya unit-unit pembangkit atau penghantar (transmisi).
2. Lepas sinkron (*Loss of synhron*)
Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, switching, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi serta resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

3. Arus beban kumparan yang tidak seimbang (*unbalance armature current*)

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, switching, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Apabila peristiwa ini cukup lama dan melampaui batas-batas ketidakstabilan generator, generator akan kehilangan kondisi paralel. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi serta resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

F. Sistem Proteksi pada Generator

Secara luas proteksi diartikan sebagai pengaman atau pelindung suatu sistem tertentu yang berguna untuk mencegah terjadinya hal-hal yang tidak diharapkan atau bahkan dapat merugikan suatu sistem. Tujuan dari sistem proteksi adalah untuk mengurangi kerusakan peralatan yang mengalami gangguan maupun peralatan yang dilewati oleh arus gangguan, dapat mengisolir bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin dan secepat mungkin, dan dapat mencegah meluasnya gangguan yang terjadi. Adapun fungsi dari sistem proteksi adalah untuk mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal pada bagian sistem yang diamankan, melepas bagian sistem yang terganggu, sehingga bagian sistem yang lainnya masih dapat terus beroperasi. Dalam aplikasinya, sistem proteksi terdiri atas beberapa peralatan pendukung.

Berikut ini adalah skema secara umum dari sistem proteksi beserta peralatan pendukung yang digunakan, (1) Relay pengaman sebagai elemen perasa/ pengukur untuk mendeteksi adanya gangguan; (2) Pemutus tenaga (PMT) sebagai pemutus arus dalam sirkuit tenaga untuk melepas bagian sistem yang terganggu; (3) Trafo arus dan atau trafo tegangan mengubah besarnya arus dan atau tegangan dari sirkuit primer ke sirkuit sekunder (relay); (4) Batere/ aki sebagai sumber tenaga untuk mentriapkan PMT dan catu daya untuk relay statik dan relay bantu; (5) *Wiring* untuk

menghubungkan komponen-komponen proteksi sehingga menjadi satu sistem.

Proteksi pada generator ini diharapkan dapat mencegah terjadinya kerusakan ataupun gangguan-gangguan pada generator tersebut. Meskipun risiko kerusakan itu tidak mampu dicegah secara ideal, namun setidaknya mampu meminimalisir risiko kerusakan tersebut. IEEE Std 242-2001 membagi sistem proteksi generator sinkron menjadi 3 jenis dilihat dari kapasitas generatornya. Semakin besar kapasitas generator, semakin banyak pula peralatan proteksi yang digunakan.

Adapun macam-macam proteksi yang pada umumnya ada pada generator sebagai berikut:

1. Proteksi terhadap temperatur

Suhu pada stator yang terus meningkat melebihi batas kemampuan generator dapat membahayakan sebab bisa merusak isolasi di dalamnya. Oleh sebab itu diperlukan peralatan proteksi yang dapat menghidupkan alarm atau *men-trip breaker* jika suhu di dalam stator telah melebihi batas yang diperbolehkan. Alarm berguna sebagai peringatan bagi petugas untuk mengambil tindakan lain seperti memutus beban yang tidak seimbang, sebelum benar-benar *men-trip breaker*.

2. Proteksi terhadap beban

Proteksi terhadap beban ini digunakan jika arus beban melebihi nominal dan bertahan lama sehingga dapat memanaskan belitan generator, merusak konduktor dan isolasi belitan.

3. Proteksi terhadap arus (*negative phase/ unbalance overcurrent relay*)

Proteksi terhadap arus tak seimbang biasa menggunakan rele *negative sequence overcurrent*. Kemampuan generator dalam menahan arus tidak seimbang diperoleh dari produsen dan harus sesuai dengan IEEE Std C50.13.

4. Proteksi terhadap tegangan kurang

Proteksi terhadap tegangan kurang ini digunakan jika generator mengalami beban berlebih, AVR generator mengalami kerusakan dan gangguan hubung singkat di sistem sehingga hal ini dapat mengakibatkan

rusaknya belitan stator. Proteksi yang biasa digunakan terhadap tegangan kurang ini adalah *under voltage relay*

5. Proteksi terhadap tegangan lebih

Proteksi terhadap tegangan lebih ini digunakan jika terjadi lepasnya beban ($P_{pemb} > P_{beban}$) sehingga mengakibatkan generator mengalami kapasitif dan AVR generator akan mengalami kerusakan, bila hal ini terus berlanjut maka dapat mengakibatkan kerusakan pada instalasi alat bantu di generator dan frekuensi akan naik > 50 Hz. Proteksi yang biasa digunakan terhadap tegangan lebih ini adalah *device number over voltage relay*.

6. Proteksi *Over Speed*

Over Speed ini dapat disebabkan karena adanya gangguan pada sistem sehingga lepas beban dan juga governor yang tidak mampu mengembalikan putaran ke putaran normal. Hal ini dapat mengakibatkan *over speed*, vibrasi, rusaknya *bearing* dan *shaft* serta frekuensi akan naik. Proteksi yang biasa digunakan adalah *Under Speed* (81-U) dan *Over Speed* (81-O).

G. Pengaman pada Generator

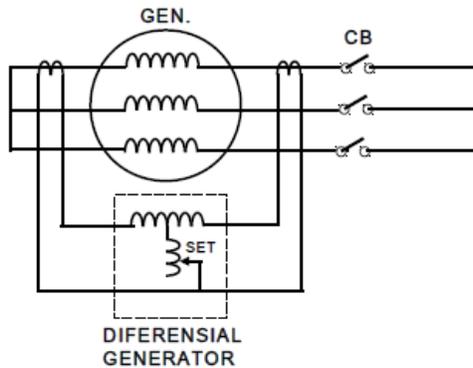
1. *Relay Differential*

Relay Differential berfungsi untuk melindungi generator dari gangguan akibat hubung singkat (*short circuit*) antar fasa-fase atau fase ke tanah. Prinsip kerjanya adalah membandingkan arus yang masuk ke peralatan dengan arus yang keluar dari peralatan tersebut.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Relay Differential

Di bawah ini gambar *Relay Differential* :

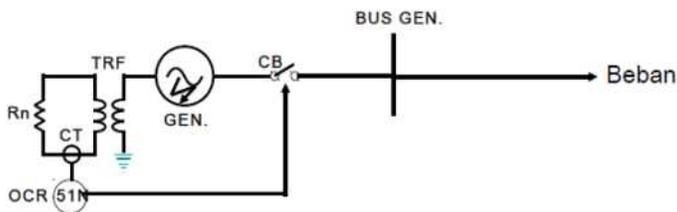


Gambar 2.5 Relay Differential

Cara kerja *relay differential* adalah dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder, dalam kondisi normal jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diproteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi di daerah kerja. Jika terjadi gangguan di dalam daerah kerja relay diferensial, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan relay akan memberi perintah kepada PMT/CB untuk memutuskan arus.

2. Relay Gangguan Stator Hubung Tanah

Stator *earth fault relay* untuk mendeteksi gangguan pentanahan atau grounding pada generator. *Ground fault* dideteksi dengan mem-biased rangkaian medan dengan tegangan DC, yang menyebabkan akan ada arus mengalir melalui relay jika terjadi gangguan tanah. Gambar diagram gangguan stator hubung tanah tampak seperti di bawah:

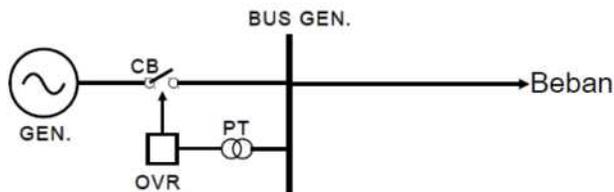


Gambar 2.6 Pengaman Stator ke Tanah

3. Relay Tegangan Lebih

Penyebab adanya gangguan, yaitu: (1) kegagalan AVR, (2) kesalahan operasi sistem eksitasi, dan (3) pemisahan generator dari sistem saat islanding; Pelepasan beban saat eksitasi dikontrol secara manual. Gangguan tegangan lebih dapat mengakibatkan generator mengalami kapasitif. AVR generator mengalami kerusakan bila gangguan berlanjut, dan frekuensi naik.

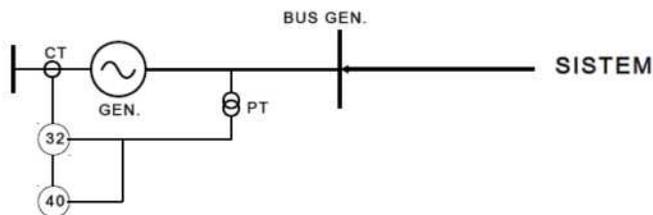
Gambar di bawah ini aplikasi pemasangan relay tegangan lebih :



Gambar 2.7 Relay Tegangan Lebih

4. Relay Daya Balik

Relai daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk pada generator. Berubahnya aliran daya aktif pada arah generator akan membuat generator menjadi motor, dikenal sebagai peristiwa motoring. Pengaruh ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input daya dari *prime mover*. Pengaman arus balik menggunakan relai *reverse power* dengan kode (32). Di bawah ini gambar relay daya balik:

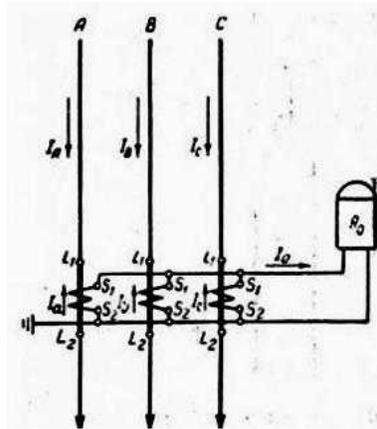


Gambar 2.8 Relai Arus Balik

5. Relay Gangguan Rotor Hubung Tanah

Hubung tanah dalam sirkuit rotor, yaitu hubung singkat antara konduktor rotor dengan badan rotor dimana dapat menimbulkan distorsi medan magnet yang dihasilkan rotor dan selanjutnya dapat menimbulkan

getaran (vibrasi) berlebihan dalam generator. Oleh karena itu, hal ini harus dihentikan oleh rele rotor hubung tanah. Karena sirkuit rotor adalah sirkuit arus searah, maka rele rotor hubung tanah pada prinsipnya merupakan rele arus lebih untuk arus searah. Gambar relay gangguan rotor hubung tanah tampak seperti di bawah:



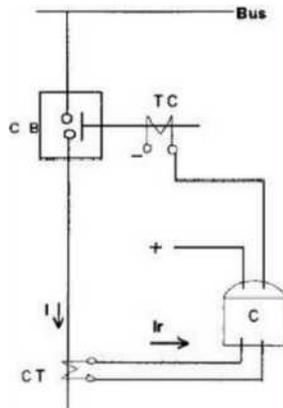
Gambar 2.9 Relay Gangguan Rotor Hubung Tanah

6. Relay Fasa Urutan Negatif

Arus yang tidak seimbang pada stator akan menimbulkan arus urutan negatif dalam stator. Arus urutan negatif ini akan menimbulkan medan magnet yang berlawanan arah terhadap rotor dan menghasilkan arus putar eddy. Pada permukaan rotor, arus pusar ini akan menimbulkan panas yang pada akhirnya dapat menyebabkan overheat. Efek pemanasan yang ditimbulkan dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bagian-bagian rotor yang juga dapat menimbulkan getaran pada rotor.

7. Relay Arus Lebih

Rele ini berfungsi mendeteksi arus lebih yang mengalir dalam kumparan stator generator. Arus yang berlebihan dapat terjadi pada kumparan stator generator atau di dalam kumparan rotor. Arus yang berlebihan pada kumparan stator dapat terjadi karena pembebanan berlebihan terhadap generator. Gambar relay arus lebih seperti di bawah :



Gambar 2.10 Relay Arus Lebih

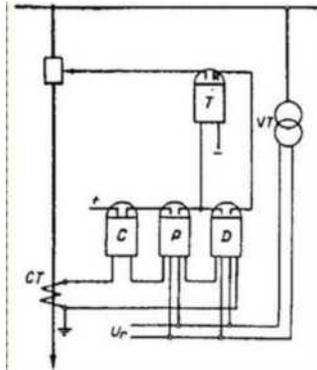
8. Relay Gangguan Frekuensi

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi adanya perubahan frekuensi dalam nilai yang besar secara tiba-tiba. Kisaran frekuensi yang diizinkan adalah $\pm 3\%$ sampai $\pm 7\%$ dari nilai frekuensi nominal. Penurunan frekuensi disebabkan oleh adanya kelebihan permintaan daya aktif di jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang turun menyebabkan naiknya arus magnetisasi pada generator yang akan menaikkan temperatur. Pada turbin uap, hal tersebut akan mereduksi umur blade pada rotor. Kenaikan frekuensi disebabkan oleh adanya penurunan permintaan daya aktif pada jaringan atau kerusakan regulator frekuensi. Frekuensi yang naik akan menyebabkan turunnya nilai arus magnetisasi pada generator yang akan menyebabkan generator kekurangan medan penguat. Sensor rele frekuensi dipasang pada tiap fasa yang keluar dari generator.

9. Relay Impedansi

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan antar fasa pada posisi output generator (di saluran penghantar atau *feeder*). Dengan adanya setting keterlambatan waktu, rele ini memberi kesempatan terlebih dahulu pada rele penghantar untuk mengatasi gangguan tersebut. Sensor rele ini berupa transformator tegangan, transformator arus, serta elemen *directional* yang hanya melihat gangguan yang ada pada posisi output generator saja, sehingga apabila terjadi gangguan dalam generator itu sendiri atau pada input generator (turbin atau *exciter*), rele tidak akan

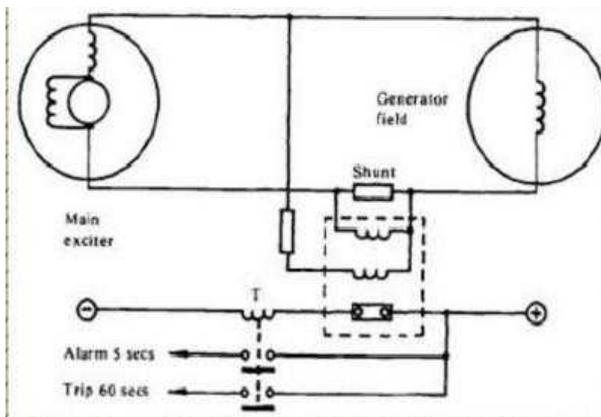
bekerja karena zona tersebut tidak berada dalam zona pengamanan yang dapat diamankan oleh rele impedansi. Gambar relay impedansi seperti di bawah :



Gambar 2.11 Relay Impedansi

10. Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor

Hilangnya medan penguat pada rotor akan mengakibatkan generator kehilangan sinkronisasi dan berputar di luar kecepatan sinkronnya sehingga generator beroperasi sebagai generator asinkron. Daya reaktif yang diambil dari sistem ini akan dapat melebihi rating generator sehingga menimbulkan overload pada belitan stator dan menimbulkan overheat yang menimbulkan penurunan tegangan generator. Gambar relay kehilangan medan penguat rotor tampak seperti gambar di bawah:

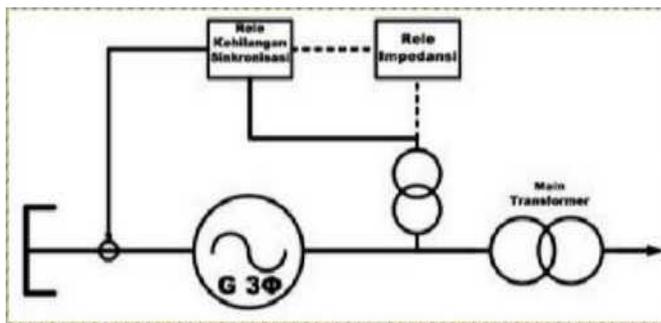


Gambar 2.12 Relay Kehilangan Medan Penguat Rotor

Hilangnya medan penguat rotor dapat dideteksi dengan kumparan yang dipasang paralel dengan main exciter dan kumparan rotor generator. Pada kumparan ini akan mengalir arus yang apabila nilainya kurang dari arus setting yang diinginkan, maka akan membuat rele mengeluarkan sinyal alarm atau trip.

11. Relay Kehilangan Sinkronisasi

Peristiwa lepasnya sinkronisasi pada generator yang sedang beroperasi disebabkan oleh generator yang beroperasi melampaui batas stabilnya. Stabilitas adalah kemampuan sistem untuk kembali bekerja normal setelah mengalami sesuatu seperti perubahan beban, *switching*, dan gangguan lain. Gangguan tersebut akan berdampak pada tidak sinkronnya tegangan generator dan sistem. Untuk mengamankan generator yang berkapasitas beban besar terhadap peristiwa ayunan beban dari kondisi tak sinkron digunakan rele lepas sinkron. Rele ini mendeteksi besar impedansi (arus dan tegangan sistem). Apabila kondisi sistem akan memasuki impedansi generator maka rele tersebut akan mengaktifkan rele untuk trip PMT generator. Rele impedansi merupakan *backup* bagi rele ini. Gambar relay kehilangan sinkronisasi tampak seperti di bawah:



Gambar 2.13 Relay Kehilangan Sinkronisasi

Secara ringkas berikut ini tabel nama relai dan fungsi relai yang digunakan pada proteksi generator pada pembangkit tenaga listrik.

Tabel 2.1 Macam-macam Relai Proteksi Generator dan Fungsinya

No	Nama Relai	Fungsi Relai
1	Relai jarak (<i>distance relay</i>)	Untuk mendeteksi gangguan 2 phasa/ 3 phasa di muka generator sampai batas jangkauannya
2	Relai periksa sinkron (<i>synchron check relay</i>)	Pengaman bantu generator untuk mendeteksi persyaratan sinkronisasi atau paralel
3	Relai tegangan kurang (<i>undervoltage relay</i>)	Untuk mendeteksi turunnya tegangan sampai di bawah harga yang diizinkan
4	Relai daya balik (<i>reverse power relay</i>)	Untuk mendeteksi daya balik sehingga mencegah generator bekerja sebagai motor
5	Relai kehilangan medan penguat (<i>loss of excitation relay</i>)	Untuk mendeteksi kehilangan arus penguat pada rotor
6	Relai phasa urutan negatif (<i>negative phase sequence relay</i>)	Untuk mendeteksi arus urutan negatif yang disebabkan oleh beban tidak seimbang dari batas-batas yang diizinkan
7	Relai arus lebih seketika (<i>instantaneous over current relay</i>)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas yang ditentukan dalam waktu seketika
8	Relai arus lebih dengan waktu tunda (<i>time over current relay</i>)	Untuk mendeteksi besaran arus yang melebihi batas dalam waktu yang ditentukan
9	Relai penguat lebih (<i>over excitation relay</i>)	Untuk mendeteksi penguat lebih pada generator
10	Relai tegangan lebih (<i>over voltage relay</i>)	Bila terpasang di titik netral generator atau trafo tegangan yang dihubungkan segitiga, untuk mendeteksi gangguan stator hubung tanah Bila terpasang pada terminal generator : untuk mendeteksi tegangan lebih
11	Relai keseimbangan tegangan (<i>voltage balance relay</i>)	Untuk mendeteksi hilangnya tegangan dari trafo tegangan ke pengatur tegangan otomatis (AVR) dan ke relay
12	Relai waktu	Untuk memperlambat/mempercepat waktu

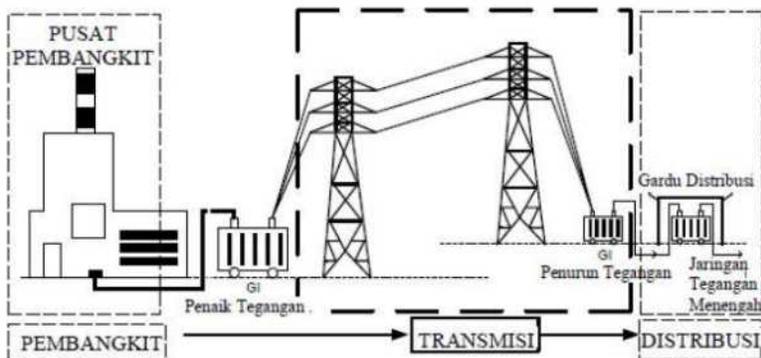
No	Nama Relai	Fungsi Relai
13	Relai stator gangguan tanah (<i>stator ground fault relay</i>)	Untuk mendeteksi gangguan hubung tanah pada stator
14	Relai kehilangan sinkronisasi (<i>out of step relay</i>)	Untuk mendeteksi kondisi asinkron pada generator yang sudah paralel dengan sistem
15	Relai pengunci (<i>lock out relay</i>)	Untuk menerima signal trip dari relai-relai proteksi dan kemudian meneruskan signal trip ke PMT, alarm, dan peralatan lain serta penguncinya
16	Relai frekuensi (<i>frequency relay</i>)	Untuk mendeteksi besaran frekuensi rendah/lebih di luar harga yang ditentukan
17	Relai differensial (<i>differential relay</i>)	Untuk mendeteksi gangguan hubung singkat pada daerah yang diamankan

BAB III

PROTEKSI PADA JARINGAN TRANSMISI DAN DISTRIBUSI

A. Pengertian Saluran Transmisi

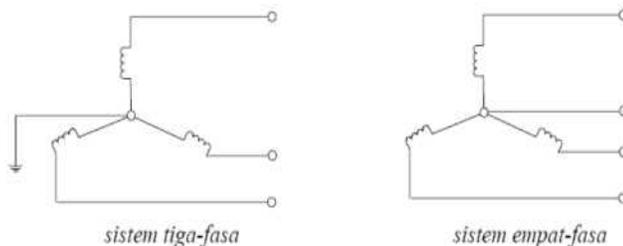
Menurut Joko Pamono dkk (2010), Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik ditransmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe saluran transmisi listrik.



Gambar 3.1 Jaringan Transmisi

Penyaluran tenaga listrik pada transmisi menggunakan arus bolak-balik (AC) ataupun juga dengan arus searah (DC). Penggunaan arus bolak-

balik ada 2 macam sistem, yaitu dengan sistem tiga-fasa atau dengan empat kawat.



Gambar 3.2 Sistem saluran transmisi tiga-fasa dan empat kawat

Sistem yang paling banyak digunakan dalam saluran transmisi yaitu sistem arus bolak balik tiga-fasa. Keuntungan menggunakan sistem arus bolak balik 3 fasa adalah (1) pembangkitannya mudah; (2) pengubahan tenaganya mudah; (3) dapat menghasilkan medan magnet putar; (4) dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan. Dalam saluran transmisi terdapat beberapa kategori antara lain:

1. Berdasarkan Pemasangannya:
 - a. **Saluran Udara (*Overhead Lines*)**, merupakan saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat yang digantung pada isolator antara menara atau tiang transmisi.
 - b. **Saluran Kabel Bawah Tanah (*Underground Cable*)**, merupakan saluran transmisi yang menyalurkan energi listrik melalui kabel yang dipendam di dalam tanah.
 - c. **Saluran Isolasi Gas (*Gas Insulated Line / GIL*)**, merupakan saluran yang diisolasi dengan gas, saluran seperti ini jarang digunakan karena mahal dan berisiko tinggi bagi lingkungan.

2. Berdasarkan Tegangan
 - a. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), 200kV – 500kV
 - b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), 30kV – 150 kV
 - c. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT), 30kV – 150 kV

B. Masalah - masalah pada Sistem Transmisi

Saluran transmisi listrik merupakan suatu sistem kompleks yang mempunyai karakteristik yang berubah-ubah secara dinamis sesuai keadaan sistem itu sendiri. Adanya perubahan karakteristik ini dapat menimbulkan masalah/gangguan jika tidak segeraantisipasi. Gangguan-gangguan yang timbul pada saluran transmisi, diantaranya:

1. Pengaruh Perubahan Frekuensi Sistem

Menurut Joko Pramono dkk. (2010), frekuensi dari suatu sistem daya berubah secara terus menerus dalam suatu nilai batas tertentu. Perubahan frekuensi dapat mengakibatkan kerusakan pada alat maupun kerusakan pada sistem transmisi itu sendiri. Perubahan frekuensi menyebabkan perubahan pada reaktansi. Dengan perubahan frekuensi dari ω_1 ke ω_1' dengan kenaikan $\Delta\omega_1$, reaktansi dari saluran akan berubah dari X ke X' dengan kenaikan ΔX . Perubahan reaktansi ini mempengaruhi pengukuran impedansi. Impedansi yang terukur akan berbeda dengan nilai impedansi yang sebenarnya.

2. Pengaruh dari Ayunan Daya pada Sistem

Ayunan daya terjadi pada sistem paralel pembangkitan (generator) akibat hilangnya sinkronisasi salah satu generator sehingga sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih dan ini terjadi bergantian atau berayun. Ayunan daya ini dapat mengganggu kestabilan sistem. Ayunan daya ini harus segera diatasi dengan melepaskan generator yang terganggu. Pada saluran transmisi adanya ayunan daya ini tidak boleh membuat kontinuitas pelayanan terganggu, tetapi perubahan arus yang terjadi pada saat ayunan daya bisa masuk dalam jangkauan sistem proteksi sehingga memutuskan aliran arus pada saluran transmisi (Joko Pramono dkk. 2010).

3. Pengaruh Gangguan pada Sistem Transmisi

Saluran transmisi mempunyai risiko paling besar bila mengalami gangguan, karena dapat menyebabkan terputusnya penyaluran listrik ke beban. Oleh karena itu diperlukan usaha untuk mengurangi akibat adanya gangguan tersebut atau memisahkan bagian yang terganggu dari sistem.

Gangguan pada saluran transmisi merupakan 50% dari seluruh gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Diantara gangguan tersebut, gangguan yang terbesar adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yaitu sekitar 85% dari total gangguan pada transmisi saluran udara.

Gangguan-gangguan yang biasa terjadi pada saluran transmisi dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: (a) gangguan karena kesalahan manusia (kelalaian); (b) gangguan dari dalam sistem, misalnya karena faktor ketuaan, arus lebih, tegangan lebih sehingga merusak isolasi peralatan; (c) gangguan dari luar, biasanya karena faktor alam, contohnya cuaca, gempa, petir, banjir, binatang, pohon dan lain-lain.

Jenis gangguan bila ditinjau dari sifat dan penyebabnya dapat dikelompokkan sebagai berikut: (a) Beban lebih, ini disebabkan karena memang keadaan pembangkit yang kurang dari kebutuhan bebannya; (b) Hubung singkat, jika kualitas isolasi tidak memenuhi syarat, yang mungkin disebabkan faktor umur, mekanis, dan daya isolasi bahan isolator tersebut; (c) Tegangan lebih, yang membahayakan isolasi peralatan di gardu; (d) Gangguan stabilitas, karena hubung singkat yang terlalu lama.

C. Proteksi pada Sistem Transmisi

Proteksi pada sistem transmisi untuk meminimalisir pemadaman dan kerusakan yang lebih lanjut yang disebabkan oleh gangguan yang terjadi pada sistem transmisi tenaga listrik. Sistem proteksi pada transmisi tenaga listrik harus memiliki falsafah sebagai berikut berikut: (1) Ekonomi, peralatan proteksi mempunyai nilai ekonomi; (2) Selektif, dapat mendeteksi dan mengisolasi gangguan. (3) Ketergantungan, proteksi hanya bekerja jika terjadi gangguan. (4) Sensitif, mampu mengenali gangguan, sesuai setting yang ditentukan, walaupun gangguannya kecil; (5) Mampu bekerja dalam waktu yang sesingkat mungkin; (6) Stabil, proteksi tidak mempengaruhi kondisi yang normal; (7) keamanan, memastikan proteksi tidak bekerja jika terjadi gangguan.

Menurut Joko Pramono dkk (2010), Perlengkapan Gardu Transmisi terdiri atas :

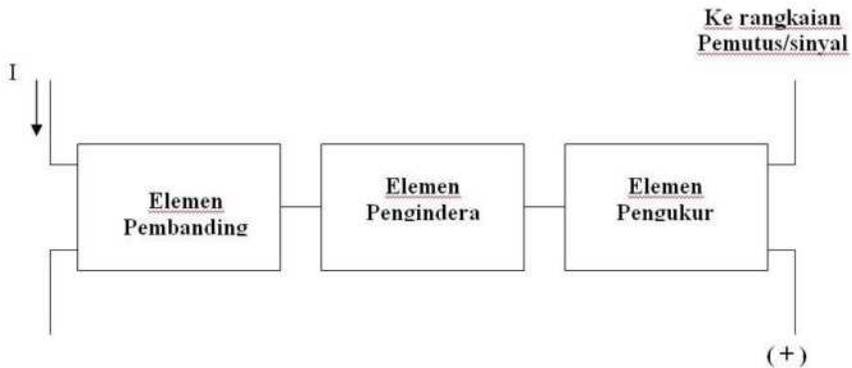
1. **Busbar atau Rel**, merupakan titik pertemuan/hubungan antara trafo-trafo tenaga, Saluran Udara TT, Saluran Kabel TT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/ daya listrik.

2. **Lightning Arrester**, biasa disebut dengan Arrester dan berfungsi sebagai pengaman instalasi (peralatan listrik pada instalasi Gardu Induk) dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (*lightning surge*).
3. **Transformator instrument atau trafo ukur**, untuk proses pengukuran. Antara lain :
 - a. **Trafo Tegangan**, berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan pengukuran.
 - b. **Trafo Arus**, berfungsi untuk menurunkan arus yang besar menjadi arus pengukuran.
 - c. **Transformator Bantu (Auxilliary Transformator)**, digunakan untuk membantu beroperasinya gardu induk secara keseluruhan.
4. **Sakelar Pemisah (PMS) atau Disconnecting Switch (DS)**, Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan.
5. **Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB)**, Berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian pada saat berbeban (pada kondisi arus beban normal atau pada saat terjadi arus gangguan).
6. **Sakelar Pentanahan**, Sakelar ini untuk menghubungkan kawat konduktor dengan tanah/ bumi yang berfungsi untuk menghilangkan/ mentanahkan tegangan induksi pada konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasian suatu sistem.
7. **Kompensator**, alat pengubah fasa yang dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran transmisi atau transformator. SVC (*Static Var Compensator*) berfungsi sebagai pemelihara kestabilan.
8. **Peralatan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) dan Telekomunikasi**, berfungsi sebagai sarana komunikasi suara dan komunikasi data serta tele proteksi dengan memanfaatkan penghantarnya.
9. **Relay Proteksi**

Komponen-komponen proteksi pada sistem transmisi adalah sebagai berikut:

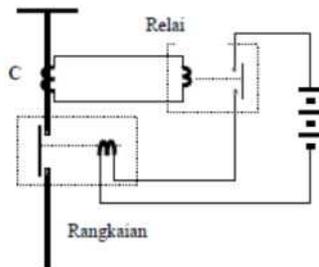
 - a. Relay, sebagai alat perasa untuk mendeteksi adanya gangguan yang selanjutnya memberi perintah trip kepada Pemutus tegangan

(PMT). Secara garis besar bagian dari relay proteksi terdiri atas 3 bagian utama seperti pada blok diagram di bawah:



Gambar 3.3 Diagram Blok Relay Proteksi

- 1) Elemen pengindra, elemen ini memiliki fungsi untuk mengukur besaran- besaran listrik, seperti arus, tegangan, frekuensi dan sebagainya tergantung pada relay yang digunakan dalam elemen ini. Besaran-besaran tersebut dicek kondisinya apakah normal atau tidak untuk selanjutnya data tersebut dikirimkan ke elemen perbandingan.
- 2) Elemen Perbandingan, elemen ini berfungsi menerima data besaran dari elemen pengindra untuk membandingkan besaran listrik pada saat keadaan normal dengan besaran arus kerja relay.
- 3) Elemen Pengukur, elemen ini berfungsi untuk mengadakan perubahan secara cepat pada besaran ukurnya dan akan segera memberikan isyarat untuk membuka PMT atau memberikan sinyal. Pada sistem proteksi menggunakan relay proteksi sekunder seperti gambar di bawah ini.

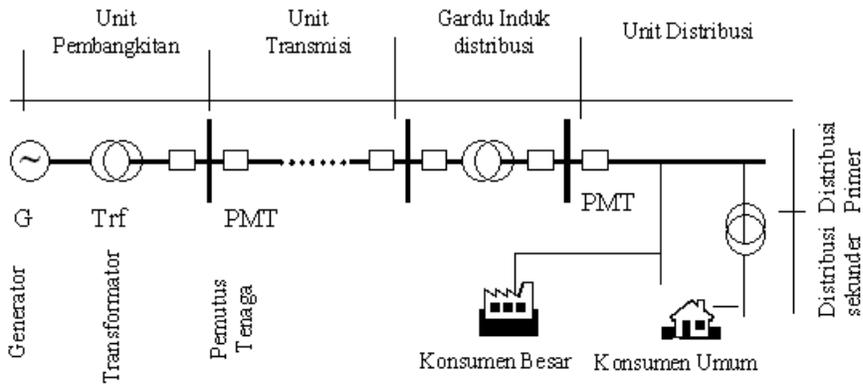


Gambar 3.4 Rangkaian Proteksi Relay

- a. *Trafo Arus (CT)* merupakan alat pengindera yang mendeteksi adanya gangguan. Relay berfungsi sebagai elemen pembanding sekaligus pengukur yang memberikan isyarat kepada PMT untuk memutuskan arus apabila terjadi gangguan.
- b. Kawat tanah, grounding dan perlengkapannya, dipasang di sepanjang jalur SUTT. Berfungsi untuk menyetanahkan arus listrik saat terjadinya gangguan (sambaran) petir secara langsung.
- c. Pentanahan tiang, Untuk menyalurkan arus listrik dari kawat tanah (*groundwire*) akibat terjadinya sambaran petir. Terdiri atas kawat tembaga atau kawat baja yang di klem pada pipa pentanahan dan ditanam di dekat pondasi tower (tiang) SUTT.
- d. Jaringan pengaman, berfungsi untuk pengaman SUTT dari gangguan yang dapat membahayakan SUTT tersebut dari lalu lintas yang berada di bawahnya yang tingginya melebihi tinggi yang diizinkan.
- e. Bola pengaman, dipasang sebagai tanda pada SUTT, untuk pengaman lalu lintas udara

D. Pengertian Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi (Suhadi, 2008:11).



Gambar 3.5 Sistem penyaluran tenaga listrik

Jaringan distribusi listrik biasanya dilakukan oleh PT PLN mulai Gardu Induk sampai dengan gardu distribusi untuk kemudian disalurkan kepada konsumen. Distribusi energi listrik dari PT PLN dilakukan melalui jaringan udara atau dapat juga dilakukan melalui jaringan bawah tanah. Pada umumnya di daerah perkotaan jaringan distribusi menggunakan instalasi bawah tanah, sedangkan di pedesaan menggunakan instalasi udara. Pemilihan jenis instalasi listrik pada jaringan distribusi dilakukan dengan pertimbangan, sebagai berikut:

1. Kemudahan
2. Biaya
3. Estetika
4. Keamanan
5. Kemudahan perawatan dan perbaikan

Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi. Gardu induk distribusi ada yang berada di ujung saluran transmisi, yang berfungsi mengatur distribusi daya yang diterima dari saluran transmisi sekaligus menurunkan tegangan dari level saluran transmisi ke level jaringan distribusi. Gardu induk juga ada yang berada di antara jaringan distribusi yang berfungsi untuk membagi aliran daya dan menurunkan tegangan distribusi ke tegangan rendah. Berdasarkan jenis

pemasangannya gardu distribusi terdapat dua jenis yaitu gardu pasang luar dan gardu pasang dalam.

Gardu distribusi pasang luar umumnya disebut gardu portal untuk konstruksi 2 tiang dan gardu cantol untuk konstruksi 1 tiang, masing-masing dengan kapasitas transformator terbatas. Gardu portal terdiri atas FCO (*Fused Cut Out*) dan LA (*Lightning Arrester*). FCO berfungsi sebagai pengaman hubung singkat trafo dengan elemen pelebur (*Fuse Link*) type *Expulsion*. LA berfungsi sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Gardu distribusi pasang dalam umumnya disebut gardu beton (*Masonry Wall Distribution Substation*) dengan kapasitas transformator besar. Pemasangan jenis ini dipakai untuk daerah padat beban tinggi.

E. Level Tegangan Jaringan Distribusi Listrik

Berdasarkan level tegangannya jaringan distribusi listrik dibagi menjadi 2 yaitu:

1. Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 KV

Jaringan distribusi tegangan menengah, antara lain:

- a) Antar Gardu Induk
- b) Antara Gardu Induk dengan konsumen besar Tegangan Menengah
- c) Antara Gardu Induk dengan trafo distribusi

2. Jaringan Distribusi Tegangan Rendah 380/220 V

Jaringan distribusi tegangan rendah yaitu bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik yang dihubungkan langsung kepada konsumen.

Jaringan distribusi tegangan menengah biasanya menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat dengan tegangan antara fasa dengan tanah (netral) 20 kV. Jaringan distribusi merupakan penghubung antar gardu induk tegangan menengah atau yang menghubungkan gardu induk tegangan menengah dengan trafo distribusi tegangan rendah. Jaringan tegangan rendah ada yang menggunakan jaringan 3 fase 4 kawat untuk beban-beban yang relatif besar.

Beban yang relatif kecil termasuk beban rumah tangga lebih banyak menggunakan satu fase 2 kawat dengan tegangan 220 volt dari fasa ke netral. Dalam prakteknya, trafo tegangan yang digunakan mempunyai tiga

terminal output, yaitu satu netral yang juga dihubungkan ke tanah dan dua terminal fasa yang mempunyai tegangan sama 220 volt.

Bila jaringan tegangan rendah dan jaringan tegangan menengah menggunakan tiang yang sama maka kawat penghantar yang digunakan cukup satu saja, sebagai kawat netral kedua sistem tersebut. Untuk pelanggan yang menggunakan cukup besar, misalnya industri, rumah sakit atau kampus biasanya berlangganan dengan tegangan menengah 20 kV. Untuk kepentingan menurunkan tegangan dan pendistribusiannya pihak pelanggan mengelola gardu induk sendiri. Pelanggan beban yang relatif kecil yang menggunakan tegangan rendah dilayanidengan jaringan transmisi tegangan rendah yang menghubungkan pelanggan dengan trafo distribusi tegangan rendah.

F. Klasifikasi Jaringan Distribusi

1. Berdasarkan Ukuran Tegangan

Klasifikasi jaringan distribusi berdasarkan nilai tegangannya dibedakan menjadi dua, yaitu:

a) Saluran Distribusi Primer

Saluran distribusi primer terletak pada sisi primer dari trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo substation pada gardu induk sampai titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV. Selain tegangan 20 kV, tegangan 70 kV atau 150 kV dapat disebut jaringan distribusi bila langsung melayani pelanggan.

b) Saluran Distribusi Sekunder

Saluran distribusi sekunder terletak pada sisi sekunder trafo, yaitu antara titik sekunder sampai titik cabang menuju beban.

2. Berdasarkan Bentuk Tegangannya

Berdasarkan bentuk tegangannya terhadap dua bentuk yaitu Saluran Distribusi DC (*direct current*) yang menggunakan sistem tegangan searah dan Saluran Distribusi AC (*alternating current*) yang menggunakan tegangan bolak-balik.

3. Berdasarkan Jenis/ Tipe Konduktornya

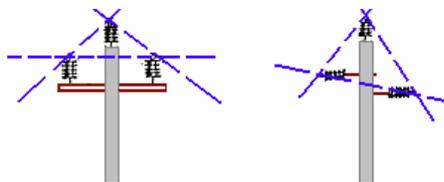
Berikut ini adalah beberapa jenis/tipe konduktor saluran distribusi tenaga listrik:

- a) Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:
 - 1) Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang atau tanpa isolasi pembungkus.
 - 2) Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- b) Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
- c) Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*)

4. Berdasarkan Susunan (Konfigurasi) Saluran

Berdasarkan susunan (konfigurasi saluran, sistem distribusi terbagi menjadi tiga, yaitu:

- a. Saluran konfigurasi vertikal
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi vertikal bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal.
- b. Saluran konfigurasi horisontal
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi horisontal apabila saluran antar fasa atau fasa dengan netral, positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horisontal.
- c. Saluran konfigurasi delta
Dikatakan saluran distribusi dengan konfigurasi apabila kedudukan saluran satu dengan yang lain membentuk suatu segitiga.



Gambar 3.6 Saluran konfigurasi delta

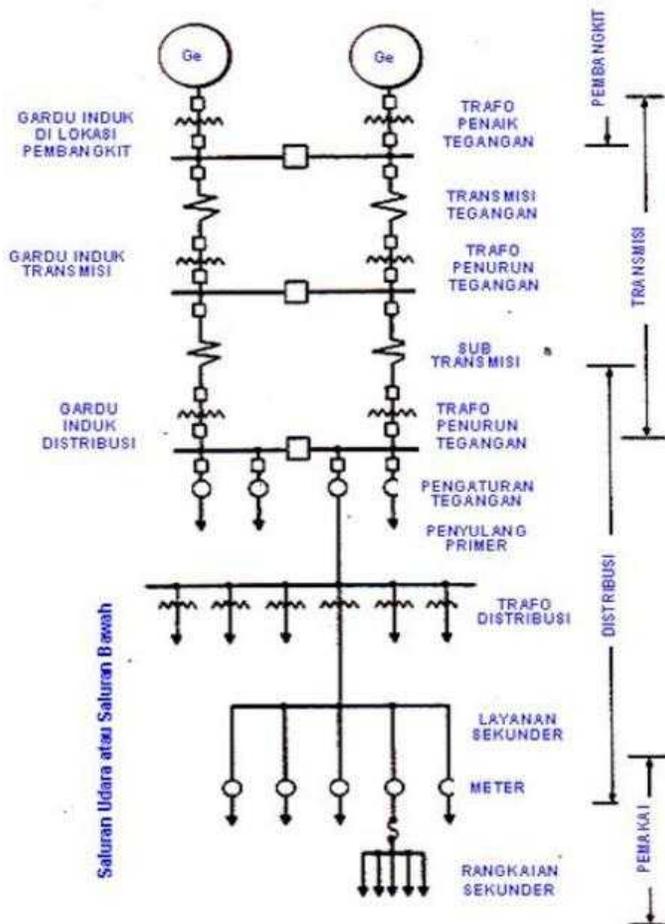
G. Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan, antara lain:

- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*), bertegangan tinggi (HV, UHV, EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, tegangan menengah (6 atau 20kV)
- Daerah IV : Di dalam bangunan pada beban/konsumen, Instalasi bertegangan rendah

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat diklasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat. Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

1. SUTM, terdiri atas: Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan perlengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
2. SKTM, terdiri atas: Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.
3. Gardu trafo, terdiri atas: Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
4. SUTR dan SKTR terdiri atas: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM yang membedakan hanya dimensinya.



Gambar 3.7 Pembagian/pengelompokkan tegangan sistem tenaga listrik

H. Pendistribusian Tenaga Listrik

1. Jaringan Distribusi Udara (*Overhead*)

Jaringan distribusi umumnya menggunakan saluran udara dengan kawat telanjang yang dipasang pada tiang dengan isolator, karena dari sisi biaya pembangunannya lebih murah dan perawatannya lebih sederhana. Hanya saja jenis jaringan ini dapat mengganggu pemandangan, karena banyak bentangan kawat yang melintas di sepanjang jaringan. Kelemahan yang lain dari sistem ini

adalah kurang aman terhadap gangguan cuaca dan dan teganggu oleh pepohonan yang tumbuh di sekitar jaringan.

2. Jaringan Distribusi Bawah Tanah (*Under Ground*)

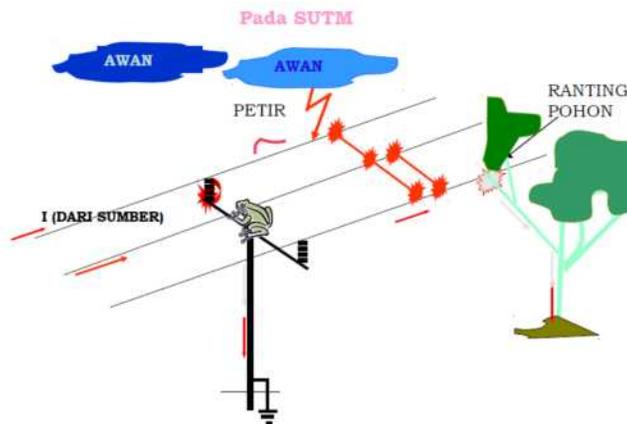
Berbeda dengan jaringan bawah tanah, yang mempunyai kelebihan tidak mengganggu pemandangan dan lebih aman terhadap gangguan cuaca. Hanya saja bila terjadi kerusakan, penanganannya lebih rumit. Jaringan bawah tanah biasanya digunakan pada daerah yang menuntut estetika yang tinggi dan jarak yang relatif pendek. Salah satu penggunaan jaringan distribusi bawah tanah adalah untuk jaringan distribusi perumahan (*underground residential distribution = URD*). Selain perumahan beberapa fasilitas umum juga menggunakan jaringan distribusi bawah tanah seperti jalan tol, jaringan yang melewati sungai atau pada persilangan saluran transmisi.

Konstruksi jaringan menggunakan sistem bawah tanah mahal dan biayanya lebih bervariasi, faktor-faktor yang mempengaruhi biaya jaringan bawah tanah adalah:

- a. Pengembangan, seperti jalan raya, saluran air, hal-hal ini akan memperlambat pengerjaan konstruksi dan akan meningkatkan biaya.
- b. Kondisi tanah, lokasi yang berbatuan dan material lainnya yang bersifat keras akan meningkatkan waktu dan biaya pengerjaan untuk pemasangan kabel.
- c. Perkotaan, pinggiran, dan pedesaan
Konstruksi sistem bawah tanah untuk daerah perkotaan jauh lebih sulit dikerjakan. Hal ini tidak hanya disebabkan oleh bangunan-bangunan besar, namun juga kepadatan lalu lintas. Didaerah pedesaan secara umum lebih murah, tetapi salurannya lebih panjang.
- d. Pipa Kabel, saluran yang perlu dilapisi beton jauh lebih mahal dibandingkan dengan yang ditanam langsung.
- e. Bahan dan ukuran kabel, biaya untuk kabel relatif lebih rendah.
- f. Peralatan instalasi, diperlukannya mesin-mesin besar untuk mempermudah pekerjaan juga memerlukan biaya.

I. Gangguan – Gangguan pada Sistem Distribusi

Bagian dari sistem tenaga listrik yang paling dekat dengan pelanggan adalah sistem distribusi. Sistem distribusi adalah bagian sistem tenaga listrik yang paling banyak mengalami gangguan, sehingga masalah utama dalam operasi sistem distribusi adalah mengatasi gangguan. Disamping itu masalah drop tegangan, bagian-bagian instalasi yang berbeban lebih, dan rugi-rugi daya dalam jaringan merupakan masalah yang perlu dicatat dan dianalisis secara terus menerus, untuk dijadikan masukan bagi perencanaan pengembangan sistem.



Gambar 3.8 Ilustrasi Penyebab Gangguan pada Jaringan Distribusi

1. Gangguan Hilang Pembangkit

Merupakan gangguan yang disebabkan oleh hilangnya pasokan daya pada pembangkit. Gangguan ini terjadi karena beberapa faktor, antara lain:

- a. Gangguan internal yaitu yang diakibatkan oleh pembangkit itu sendiri, misalnya: kerusakan/ gangguan pada penggerak mula (*prime over*) dan kerusakan/ gangguan pada generator, atau komponen lain yang ada di pembangkitan (Suhadi, 2008:181).
- b. Gangguan eksternal, yaitu gangguan yang berasal dan diakibatkan dari luar pembangkitan, misalnya: gangguan hubung singkat pada jaringan. Hal ini akan menyebabkan sistem proteksi (relai atau *circuit breaker*) bekerja dan memisahkan suatu pembangkitan dari sistem yang lainnya. Apabila tingkat kemampuan pembebanan pembangkitan yang hilang atau terlepas dari sistem tersebut melampaui *spinning reserve* sistem,

maka terjadi penurunan frekuensi terus menerus. Hal ini harus segera diatasi, karena akan menyebabkan trip pada unit pembangkitan yang lain, sehingga berakibat lebih fatal, yaitu sistem akan mengalami padam total (collapse) (Suhadi, 2008:181).

2. Gangguan Beban Lebih

Pelayanan kepada pelanggan listrik yang melebihi kemampuan sistem tenaga listrik yang ada, misal: trafo distribusi dengan kapasitas daya terpasang 100 KVA, akan tetapi melayani pelanggan lebih besar dari kapasitasnya. Hal ini menyebabkan trafo bekerja pada kondisi abnormal. Hal ini menimbulkan arus yang mengalir cukup besar dan menimbulkan panas, sehingga mengurangi *lifetime* pada peralatan.

3. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang mengakibatkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat pada jaringan listrik, dapat terjadi antara fasa dengan fasa (2 fasa atau 3 fasa) dan gangguan antara fasa ke tanah. Timbulnya gangguan bisa bersifat temporer (*non persistent*) dan gangguan yang bersifat permanen (*persistant*) (Suhadi, 2008:182).

a. Gangguan Hubung Singkat Permanen

Gangguan hubung singkat permanen adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung dengan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator.

b. Gangguan Hubung Singkat Temporer

Gangguan hubung singkat temporer adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung sementara. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh sambaran petir, dan pada SUTM dapat disebabkan karena tiupan angin.

4. Gangguan Tegangan Lebih

Menurut Suhadi (2010), gangguan tegangan lebih yaitu besarnya tegangan pada jaringan listrik melebihi tegangan nominal, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain:

- a. Adanya penurunan beban atau hilangnya beban pada jaringan, yang disebabkan oleh switching karena gangguan atau disebabkan karena manuver.
- b. Terjadinya gangguan pada pengatur tegangan otomatis/ *automatic voltage regulator* (AVR) pada generator atau pada on load tap changer transformer.
- c. Putaran yang sangat cepat (*over speed*) pada generator yang diakibatkan karena kehilangan beban.
- d. Terjadinya sambaran petir atau surja petir (*lightning surge*), yang mengakibatkan hubung singkat dan tegangan lebih.
- e. Terjadinya surja hubung (*switch surge*), yaitu berupa hubung singkat akibat bekerjanya *circuit breaker*, sehingga menimbulkan tegangan transient yang tinggi.

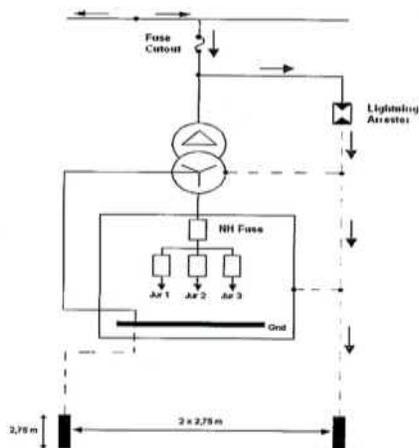
J. Proteksi pada Sistem Distribusi

Pada akhir tahun 1960-an telah diadakan studi antara para industriawan IEEE dan General Electric Company. Studi tersebut dilakukan berdasarkan pendekatan *Scale-model* yang dikenal sebagai teknik model *Nanosecond* dan pendekatan *Monte Carlo* untuk menentukan parameter-parameter dari sambaran petir. Studi ini menggunakan model skala dari beberapa tipe struktur saluran distribusi untuk menentukan metodologi dari pengaman petir.

Dalam studi tersebut diamati berbagai metode pengaman petir, mencakup penggunaan *lightning arrester* (LA) pada seluruh fasa, arrester-arrester pada ujung-ujung tiang (*dead ends*), kawat tanah dan proteksi yang hanya pada fasa tengah dari saluran tiga fasa. Hasil utama dari riset tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan *lightning arrester* pada seluruh fasa pada interval tertentu, ternyata lebih baik dari pada menggunakan kawat tanah atau dengan menggunakan pengaman hanya pada fasa teratas. Arrester dipasang sedekat mungkin dengan trafo. Penempatan arrester pengaman trafo pada gardu induk di sisi 20 kV yang ditanahkan tidak efektif (kawat netral ditanahkan dengan tahanan). Jarak arrester dengan trafo maksimum 6 mm (SPLN 7-1978). Jenis arrester yang biasa dipakai adalah jenis katup (*valve arrester*) dan jenis tabung ledak (*expulsion*).

Jenis arrester tabung ledak ini mempunyai pengamanan yang lebih baik, khususnya pada saluran yang mempunyai tingkat gangguan yang rendah. Alat ini baik digunakan pada saluran di pedesaan yang dilayani oleh gardu yang kecil. Persoalan yang timbul adalah pada setiap terjadi *spark-over* terjadi perubahan pada tabung sehingga memberikan nilai yang berubah-ubah pada tingkat *spark-over*. Sesudah 5 dan 6 kali alat ini beroperasi, ketahanan impuls isolasi dari *lightning arrester* ini dengan mudah menjadi tinggi dari ketahanan impuls isolasi peralatan yang diamankan. Dengan demikian, LA tidak dapat lagi memberikan pengamanan yang memadai.

Spesifikasi LA yang dipakai untuk JTM 20 kV adalah (a) 18 kV, 5 kA pada sisi 20 kV trafo distribusi hubungan bintang diketanahkan, (b) 24 kV, 5kA Seri A pada sisi 20 kV trafo distribusi hubungan delta, maupun (c) fasa satu dari sistem delta 24 kV, 10 kA untuk jaringan pada sisi 20 kV trafo daya pada gardu induk.



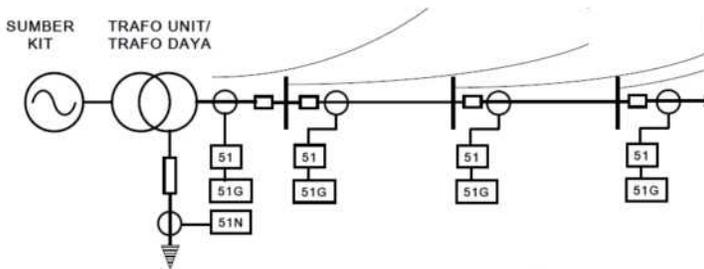
Gambar 3.9 Skema Sambaran Petir yang dialihkan Arrester ke Tanah

K. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada sistem tenaga listrik terdiri atas gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 2 fasa, hubung singkat 2 fasa ke tanah, dan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Berdasarkan analisis gangguan hubung singkat, arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah gangguan hubung singkat yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar. Gambar berikut menunjukkan berbagai jenis

gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dan rumus untuk mencari nilai gangguan hubung singkat. Perhitungan koordinasi selalu dimulai dari relai paling hilir dan bergerak ke hulu.

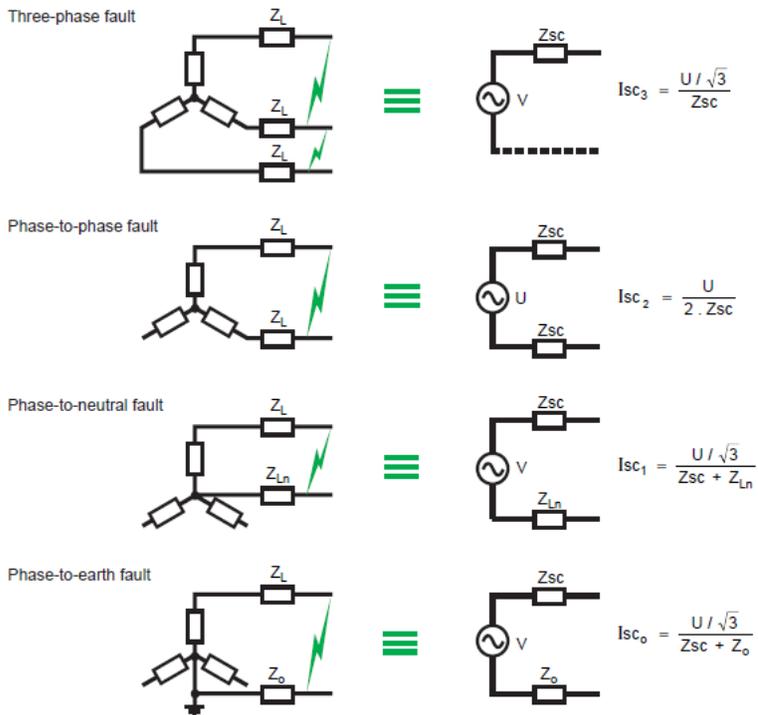
✦ JARINGAN RADIAL SINGLE



Gambar 3.10 Jaringan Radial Single

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat adalah $I = \frac{V}{Z}$

Rumus untuk perhitungan dari jenis-jenis gangguan dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 3.11 Jenis Gangguan Hubung Singkat

BAB IV

STUDI KASUS SISTEM PROTEKSI MENGUNAKAN *SOFTWARE* ECODIAL

Software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. Ecodial 4.8 merupakan salah satu *software* aplikasi yang dimiliki oleh Schneider Electric yang digunakan untuk mensimulasikan instalasi listrik tegangan rendah pada bangunan (baik bengkel, perkantoran hingga hunian rumah tangga).

Ecodial digunakan untuk jaringan listrik LV (*low voltage*) dan membantu memilih peralatan yang tepat serta mengoptimalkan pemasangan listrik. *Software* ecodial gratis untuk diunduh, untuk mendapat lisensi hanya perlu mendaftar. Jendela pendaftaran akan muncul saat *software* Ecodial dibuka, dengan melengkapi identitas seperti nama, email, dll maka kunci lisensi akan secara langsung diberikan.

Ecodial dapat digunakan untuk menghitung satu jaringan listrik, dengan kelebihan parameter yang digunakan dapat menyesuaikan dengan kebutuhan, perhitungan dalam ecodial menyesuaikan dengan standar kelistrikan, batasan pengaman yang digunakan sebagai proteksi pada jaringan dapat disesuaikan dengan kebutuhan, terdapat kurva proteksi dari setiap pengaman jaringan listrik yang dipasang, hasil perhitungan dapat dicetak untuk bukti autentik. Ecodial juga dapat digunakan untuk mengetahui koordinasi langsung dari perangkat Schneider Electric, koordinasi dari hulu ke hilir dari sistem proteksi yang digunakan.

Schneider Electric merupakan perusahaan yang bergerak dibidang kelistrikan, dan Ecodial adalah salah satu *software* yang dibuat oleh Schneider Electric. Selain itu, Schneider Electric juga memproduksi

peralatan kelistrikan yang lain seperti pengaman jaringan listrik, PLC, sensor, *motor starters and protection components*. Simulasi dalam *software ecodial* memiliki kelebihan, salah satunya yaitu memberikan solusi kepada pengguna untuk mengetahui arus hubung singkat dalam jaringan listrik, drop tegangan, dan kapasitas pengaman yang digunakan solusi yang diberikan adalah pemilihan suatu produk yang tepat untuk jaringan tersebut, karena *software ecodial* merupakan *software* yang dimiliki oleh Schneider Electric maka produk pengaman yang dipilih adalah produk milik Schneider Electric sendiri. Kita dapat mengetahui berbagai macam produk milik Schneider Electric dengan cara mengunduh katalog untuk harga, jenis produk, dan kapasitas dapat kita lihat dalam katalog tersebut.

Berikut ini adalah solusi pengaman hasil dari simulasi menggunakan *software ecodial*. Pengaman dalam SLD (*single line diagram*) pada *software ecodial* dan bentuk asli produk milik Schneider Electric.

Tabel 4.1 Jenis Pengaman Dalam Software Ecodial

Simbol dalam Ecodial	Bentuk Asli
 <div data-bbox="334 874 561 991" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> QA 3 iC60N C 40 A / 4P4d </div> <p data-bbox="223 1043 587 1072">Gambar 1. Simbol MCB Ecodial</p>	 <p data-bbox="799 933 931 986">MCB iC60N 1 Kutub</p> <p data-bbox="635 1017 984 1078">Gambar 2. Simbol MCB Catalog</p>
 <div data-bbox="320 1130 515 1277" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> QA 6 NSX100F Micrologic 2.2 M 100 A / 3P3d LC1D65A Type 1 </div> <p data-bbox="223 1312 587 1341">Gambar 3. Simbol NFB Ecodial</p>	 <p data-bbox="816 1216 931 1269">Compact NSX100F</p> <p data-bbox="635 1286 984 1347">Gambar 4. Simbol NFB Catalog</p>

Software ecodial dapat digunakan untuk beberapa analisis sistem tenaga listrik pada jaringan listrik tegangan rendah. Analisis sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan *ecodial* antara lain sebagai berikut:

A. Analisis arus hubung singkat

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan. Gangguan hubung singkat dapat juga terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir).

Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung cukup lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan akan terjadi. Akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat antara lain: (a) berkurangnya batas kestabilan untuk sistem daya; (b) Rusaknya perlengkapan-perengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.

Perhitungan hubung singkat adalah analisis sistem tenaga listrik pada keadaan gangguan hubung singkat, dimana dengan cara ini diperoleh nilai besaran-besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi kelak. Analisis hubung singkat digunakan untuk menentukan setting relai proteksi yang digunakan untuk melindungi sistem tersebut dari kemungkinan adanya gangguan tersebut.

Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung arus maksimum dan minimum gangguan, dan tegangan pada lokasi yang berbeda dari sistem tenaga untuk jenis gangguan yang berbeda sehingga rancangan pengaman, relai dan pemutus yang tepat bisa dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak normal dalam waktu yang singkat.

Salah satu relai proteksi yang digunakan adalah relai gangguan tanah *Ground Fault Relai* (GFR). Relai ini digunakan sebagai pengaman dimana fungsinya nanti adalah untuk membantu relai diferensial dalam mengamankan busbar dari gangguan hubung tanah di dalam daerah pengaman busbar. Relai differensial tidak terlalu sensitif dalam mendeteksi terjadinya gangguan hubung singkat ke tanah tetapi relai diferensial ini cukup efektif untuk mengatasi gangguan hubung singkat antara fasa dengan fasa karena biasanya arus gangguan untuk hubung singkat antara fasa dengan fasa adalah tidak terhitung.

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Kegunaan dari analisis gangguan hubung singkat antara lain adalah:

- a. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat tiga-fasa.
- b. Untuk menentukan arus gangguan.
- c. Penyelidikan operasi relai-relai proteksi.
- d. Untuk menentukan kapasitas pemutus daya.

B. Analisis Koordinasi proteksi

Dalam sistem distribusi tenaga listrik terdapat banyak peralatan distribusi yang harus dilindungi dari adanya gangguan hubung singkat. Semakin banyaknya kebutuhan masyarakat maupun industri dalam kehidupan sehari-hari tidak menutup kemungkinan akan penambahan sejumlah beban listrik yang terpasang dalam jaringan distribusi tenaga listrik. Semakin banyak peralatan listrik yang bersifat vital, semakin banyak pula perangkat proteksi yang dibutuhkan.

Relay arus lebih adalah peralatan proteksi utama dalam sistem distribusi, dimana relay tersebut terpasang di banyak titik sesuai dengan sistem distribusi yang ada. Agar sistem memiliki kualitas tinggi dalam penyaluran tenaga listrik, semua relay yang terpasang harus terkoordinasi satu sama lain dimana terdapat relay utama dan relay *back up* yang harus di-setting dan terkoordinasi dengan baik tanpa menyebabkan kesalahan pada sistem yang dapat menimbulkan kerugian. (Patel, 2015). Pertama yang harus dilakukan untuk mengkoordinasi relay arus lebih yaitu menentukan lokasi-lokasi kritis dimana antara relay utama dan relay *back up* terdiskriminasi pada nilai minimum. Kemudian mulai menghitung arus hubung singkat pada lokasi tersebut yang mungkin terjadi, dan kemudian dilakukan perhitungan koordinasi relay. (Birjandi, 2011).

Perhitungan koordinasi antara relay merupakan perhitungan yang kompleks dengan mempertimbangkan nilai arus gangguan dan waktu operasi relay. Sangat mungkin untuk dilakukan perhitungan di suatu titik dimana terdapat beberapa relay arus lebih.

C. Analisis drop tegangan

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Drop tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya drop tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (PT.PLN Persero, 2010).

Jatuh tegangan (*drop voltage*) adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Adapun penyebab jatuh tegangan (drop tegangan) adalah

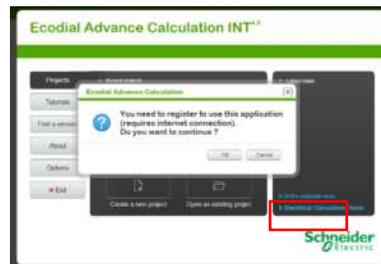
- a. Panjang jaringan, jauhnya jaringan dari trafo.
- b. Rendahnya tegangan yang diberikan dari trafo distribusi.
- c. Jenis penghantar yang digunakan.
- d. Sambungan penghantar atau konektor yang tidak baik.
- e. Arus yang dihasilkan terlalu besar.

D. Penggunaan Ecodial 4.8



Gambar 4.1 Gambar Icon Ecodial

Klik icon **ECODIAL**



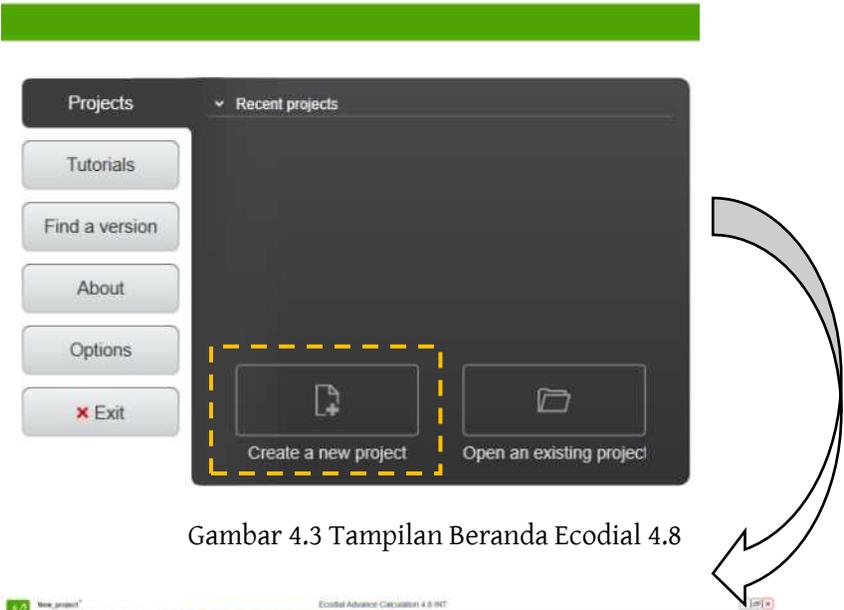
Gambar 4.2 Gambar Registrasi Lisensi

Klik OK untuk mendapat lisensi software Ecodial. Pastikan connection internet terhubung

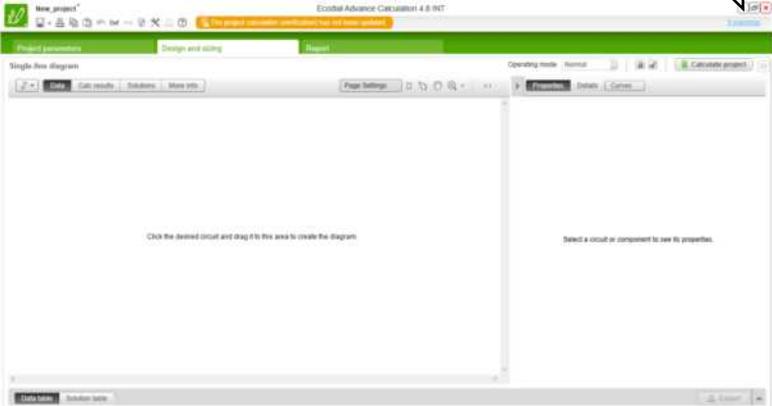
Setelah terhubung dengan internet maka untuk mendapatkan lisensi

perlu mengisi identitas dan alamat email kemudian lisensi akan dikirim melalui email. Selanjutnya masukkan lisensi yang dikirim melalui email maka *software* Ecodeial 4.8 dapat digunakan. Kemudian masuk di menu Ecodeial 4.8 maka akan muncul tampilan seperti gambar di bawah selanjutnya klik Create a New Project

Ecodeial Advance Calculation INT^{4.8}



Gambar 4.3 Tampilan Beranda Ecodeial 4.8



Gambar 4.4 Display Mask The Components

Pada layar akan muncul tampilan seperti di bawah

6. Lembar untuk definisi rangkaian dan sifat komponen.

9. Tombol untuk memulai perhitungan dan memberikan solusi untuk semua proyek.

10. StatusBar: memberikan status perhitungan dan memungkinkan tampilan alarm

7. Detailed calculation: perhitungan rangkaian tersedia dengan perhitungan yang valid

1. Navigasi tab dalam langkah-langkah proyek.
2. Tab opsional yang didedikasikan untuk definisi nilai default.

3. Calculate project

4. Single line diagram area

5. Circuit toolbox: digunakan untuk definisi dari single line diagram

8. Grafik untuk diagram proteksi (waktu/kurva arus)

11. Data table: pengaturan sifat komponen, Komponen diurutkan menurut jenisnya

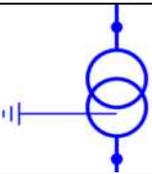
12. Solution table: hasil konsultasi dan harmonisasi solusi untuk masing-masing komponen.

E. Diagram Garis Tunggal (*Single Line Diagram*)

Diagram Garis Tunggal pada *software* Ecodial merupakan suatu metode untuk mempresentasikan pemodelan sistem kelistrikan yang digunakan untuk keperluan analisis jaringan. *Single line diagram* memuat jalur listrik dari sumber utama sampai ke beban, menjelaskan sistem kelistrikan secara sederhana sehingga memudahkan mengetahui kondisi dan fungsi dari setiap bagian peralatan instalasi yang terpasang untuk berbagai aktivitas layanan seperti perhitungan rangkaian pendek, studi koordinasi sistem proteksi, studi evaluasi keselamatan, pemeliharaan yang efisien. *Single line diagram* digunakan sebagai ganti dari saluran tiga fasa untuk memudahkan dalam pembacaan diagram maupun dalam analisis rangkaian. Elemen elektrik seperti misalnya pemutus rangkaian, transformator, kapasitor, busbar maupun konduktor lain dapat ditunjukkan dengan menggunakan simbol yang telah distandardisasi untuk diagram saluran tunggal. Elemen pada diagram tidak mewakili ukuran fisik atau lokasi dari peralatan listrik, tetapi merupakan konvensi umum untuk mengatur diagram dengan urutan kiri-ke-kanan yang sama, atas-ke-bawah.

Secara *default* saat membuka new project, jendela kanvas putih akan ditampilkan pada bagian awal. Hal tersebut merupakan tampilan default jendela diagram garis tunggal, pada lembar inilah pemodelan diagram garis tunggal sistem kelistrikan akan dibuat. Ada beberapa standar yang digunakan dalam Ecodial 4.8 yaitu standar IEC, UTE, CENELEC. Ecodial 4.8 memiliki simbol-simbol untuk membuat diagram tunggal satu garis. Adapun simbol-simbol dalam *software* Ecodial untuk membuat *single line diagram* adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Macam-Macam Simbol dalam Software Ecodial

No	Simbol	Keterangan
1.		MV source merupakan sumber tegangan medium jaringan yang saling berhubungan untuk mengalirkan listrik dari produsen ke konsumen.
2.		Pemutus Rangkaian merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan singkat
3.		Simbol Kabel untuk jaringan medium voltage
4.		Circuit Breaker merupakan sebuah saklar otomatis yang dirancang untuk melindungi sebuah rangkaian listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh kelebihan beban atau hubungan pendek.
5.		Trasnformer digunakan untuk mengubah tegangan pada jaringan listrik baik tengangan tinggi kerendah ataupun tendah ke tinggi.
6.		Busbars digunakan untuk pemodelan berbagai tipe bus dalam sistem tenaga listrik. Generator, motor dan beban statik yang dapat dihubungkan dengan beberapa bus yang diinginkan.
10		Beban berupa motor
11.		Beban berupa lampu
12		Simbol Kabel untuk jaringan <i>low voltage</i>

Ecodial dapat digunakan untuk merancang jaringan dengan karakteristik

umum sebagai berikut:

Tabel 4.3 Karakteristik Umum dalam Software Ecodial

Karakteristik	Kapasitas	Keterangan
Voltange (Tegangan)	220 V to 690 V	Nilai tegangan antar fasa yang dipakai dalam instalasi yang akan anda rancang tersedia pilihan tegangan mulai 220V untuk saluran satu fasa hingga 690V. Jika anda menggunakan saluran tiga fasa tegangan rendah dari PLN, maka tegangan yang umum dipakai adalah 380V
Frequency	50 or 60 Hz	Jika menggunakan sumber dari PLN maka menggunakan frekuensi 50 Hz
System earthing arrangement	TN-C,TN-S, IT,TT,danUpstream	<i>Earhing arrangement</i> merupakan rencana pentanahan yang akan kita pergunakan. Tersedia beberapa pilihan pentanahan yaitu TN-C,TN-S, IT, TT, danUpstream.

F. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulkpower source*) sampai ke konsumen.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11kV sampai 24kV dinaikan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah,

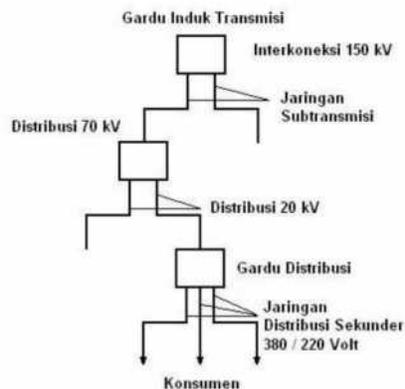
yaitu 220/ 380Volt.

Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke pelanggan/ konsumen. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan *transformator step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban.

G. Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/ primer (JTM), yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi, jaringan distribusi primer menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah (JTR), yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen, dimana sebelumnya tegangan tersebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20kV menjadi 380/ 220Volt, jaringan ini dikenal pula dengan jaringan distribusi sekunder.

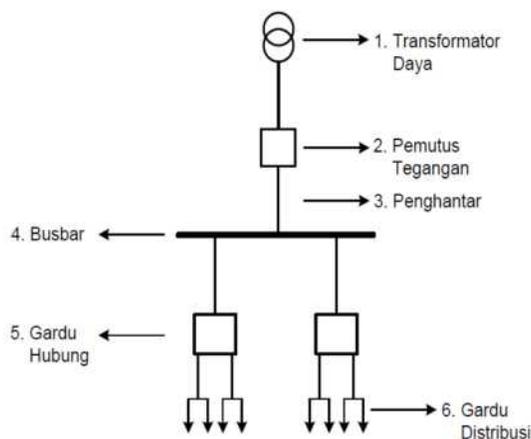
Jaringan distribusi sekunder terletak antara transformator distribusi dan sambungan pelayanan (beban) menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel dengan sistem tiga fasa empat kawat (tiga kawat fasa dan satu kawat netral). Dapat kita lihat gambar di bawah proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen.



Gambar 4.5 Diagram Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

H. Jaringan sistem distribusi primer

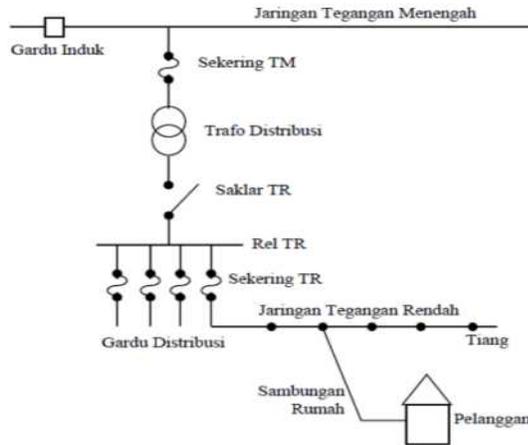
Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum.



Gambar 4.6 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer

I. Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder seperti pada gambar di bawah merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 4.7 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen

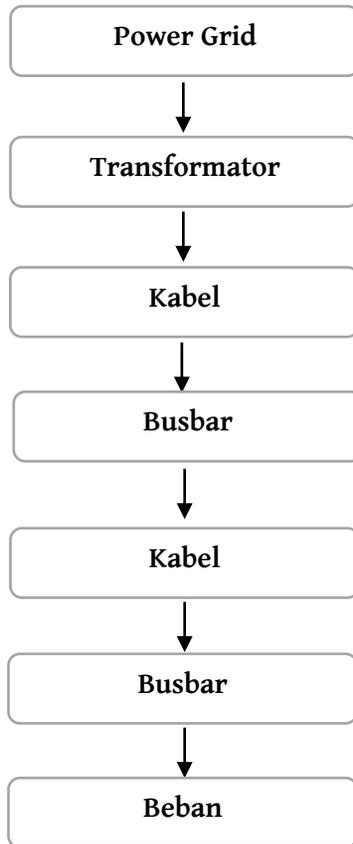
Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi.

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumberdaya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Menurut SPLN Nomor 3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/ pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/ pengukur). Ecodial merupakan *software* yang dapat kita simulasikan untuk menganalisis jaringan distribusi sekunder, mulai dari trafo distribusi ke beban.

J. Membuat Diagram Garis Tunggal

Bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah menggambar Diagram Garis Tunggal pada project yang baru. Selain itu penjelasan mengenai komponen-komponen sistem tenaga listrik serta setting pada setiap komponen agar analisis dapat berjalan dengan baik. Secara garis besar sistem tenaga listrik yang akan digambar yaitu dari *Power Grid*, Transformator, kabel, busbar, dan beban.



Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa sistem distribusi terdiri atas beberapa komponen sistem tenaga listrik, yaitu:

- a. *Power Grid*.

Power Grid merupakan sumber energi listrik dalam jumlah besar yang

melayani beban listrik pada suatu sistem tenaga listrik. Salah satu ciri khas *power grid* yaitu mampu melayani kebutuhan daya dalam jumlah yang besar dengan nilai tegangan yang terjaga relatif stabil. Dengan kata lain berapapun jumlah daya yang terserap oleh beban, *power grid* tetap mampu memberikan nilai tegangan yang nilainya relatif stabil. *Power grid* dapat berupa sebuah generator yang besar atau sebuah gardu induk yang terhubung pada suatu jaringan interkoneksi yang besar.

b. Transformator.

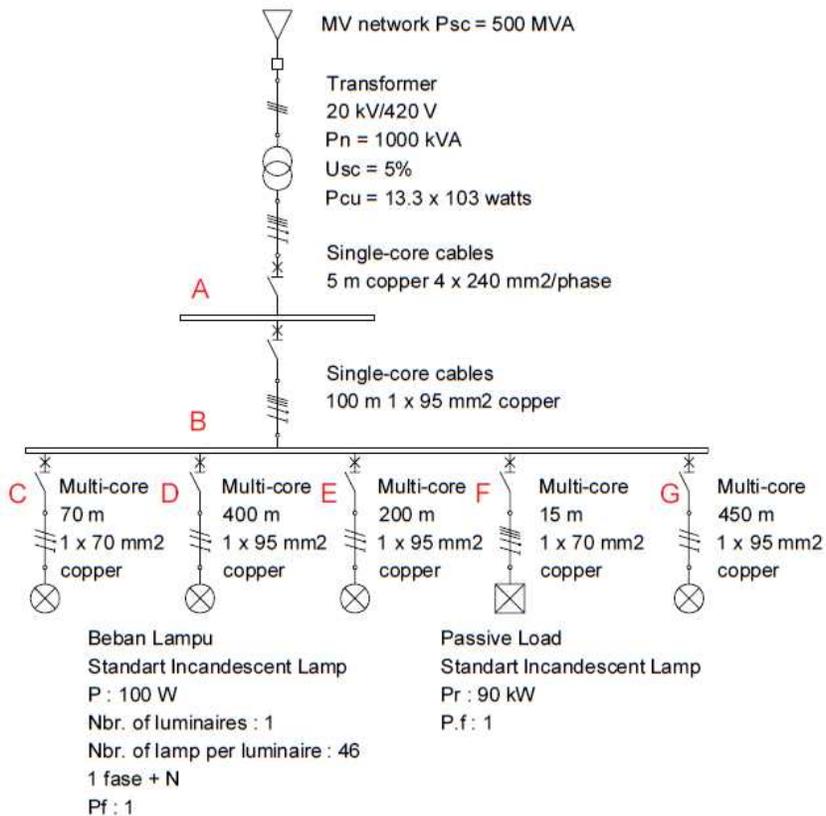
Transformator atau sering dikenal dengan trafo merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan daya listrik dari sisi primer ke sisi sekunder. Dalam hal ini, trafo yang dimaksudkan yaitu trafo yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan yang digunakan pada sistem.

c. Busbar atau sering disebut bus, yaitu tempat menyambung beberapa komponen sistem tenaga listrik seperti *power grid*, beban, saluran transmisi, kabel, dan lain sebagainya. Level tegangan pada busbar disesuaikan dengan level tegangan komponen yang terhubung dengan bus tersebut.

d. Beban yaitu peralatan listrik yang menyerap daya dari sumber energi listrik seperti *power grid*. Secara garis besar terdapat dua macam beban yaitu beban statis dan beban motor. Pada beban statis besarnya konsumsi daya listrik relatif konstan sedangkan pada beban motor konsumsi daya listrik menjadi fluktuatif terutama pada saat starting.

Berikut ini merupakan langkah-langkah menggambar diagram garis tunggal pada *software* Ecodial 4.8

1. Diketahui sebuah *single line diagram* jaringan distribusi dan data seperti gambar



Gambar 4.8 Single Line Diagram dan Spesifikasi komponen

Ikuti tahapan seperti di bawah ini untuk membuat *single line diagram* dan cara menginputkan data seperti gambar diatas.

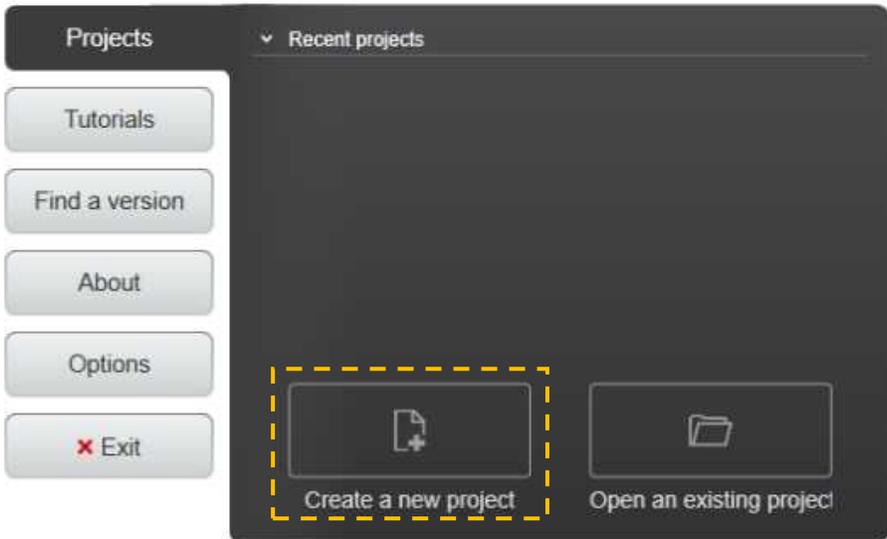
2. **Klik** icon **ECODIAL** untuk mulai program pada *software* ecodial



Gambar 4.9 Icon Ecodial

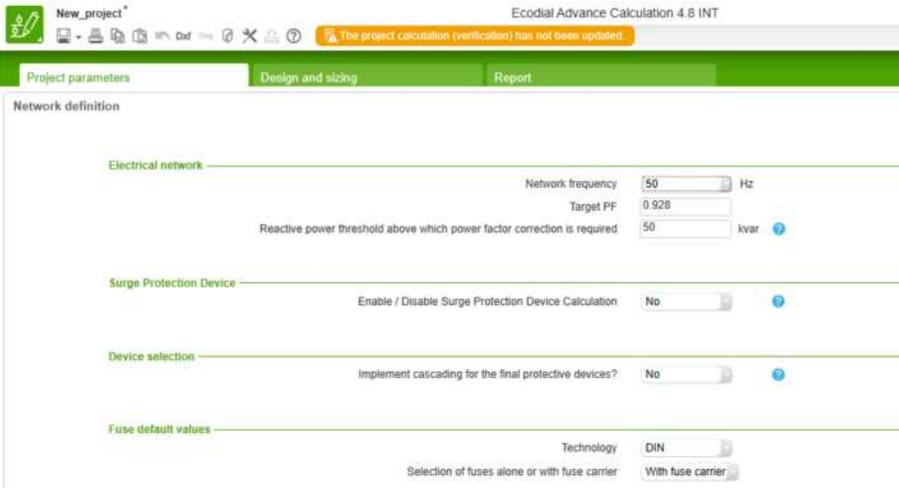
3. Setelah masuk di menu Ecodial 4.8 maka akan muncul tampilan seperti gambar di bawah selanjutnya klik *Create a New Project*

Ecodial Advance Calculation INT^{4.8}



Gambar 4.10 Tampilan Beranda Ecodial 4.8

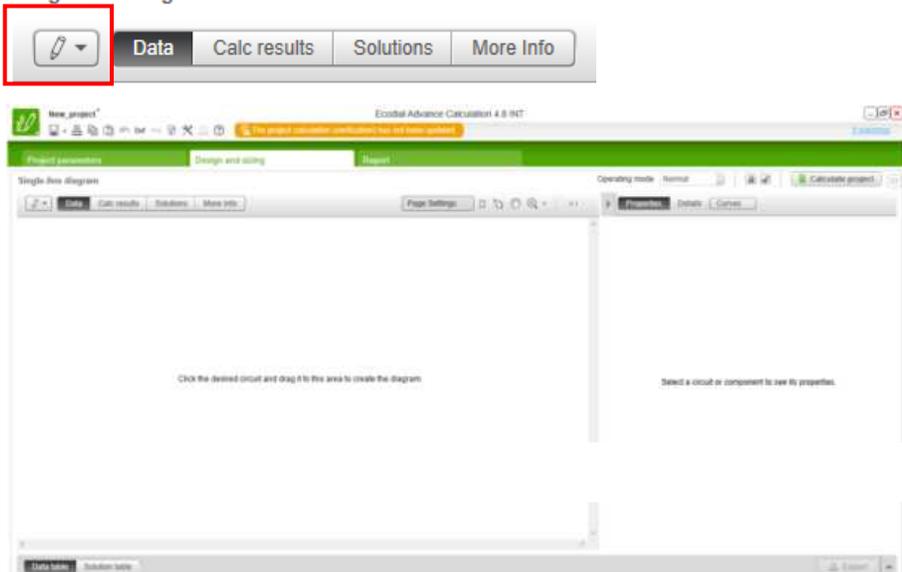
4. Sebelum menggambar *single line diagram setting* frekuensi yang akan digunakan terlebih dahulu dengan cara **klik** pada ***Project Parameter*** selanjutnya pada ***Setting Network Frequency*** isikan 50 Hz.



Gambar 4.11 Tampilan Project Parameters

- Untuk menggambar *single line diagram* **klik** pada *Design and sizing* selanjutnya **klik** gambar pena (*Display Mask the Component*) seperti gambar di bawah ini.

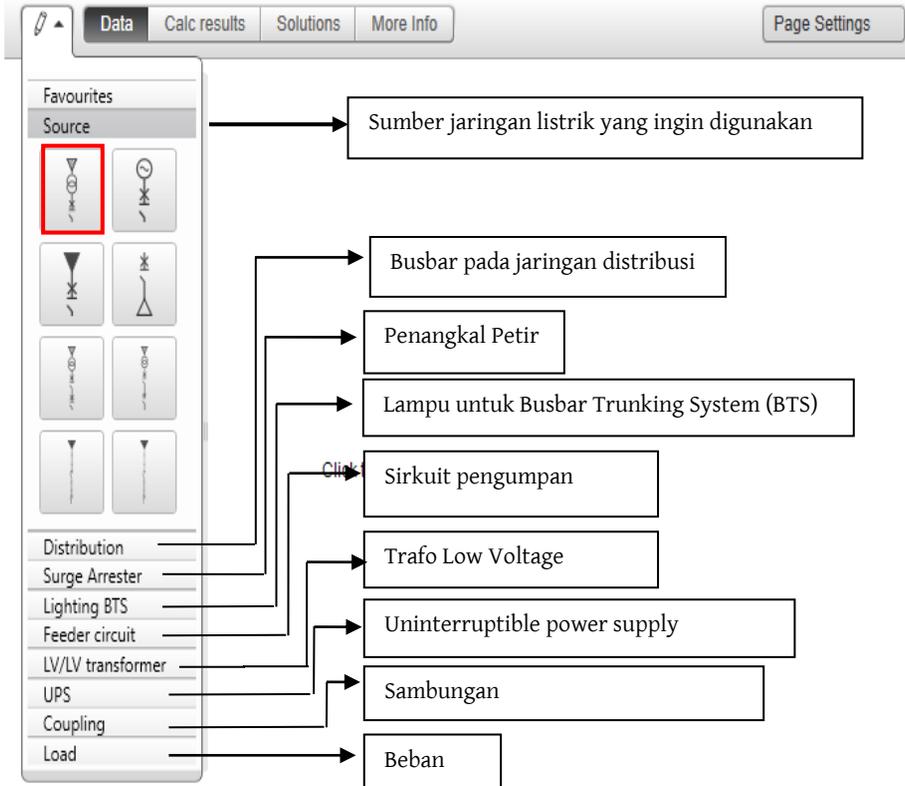
Single-line diagram

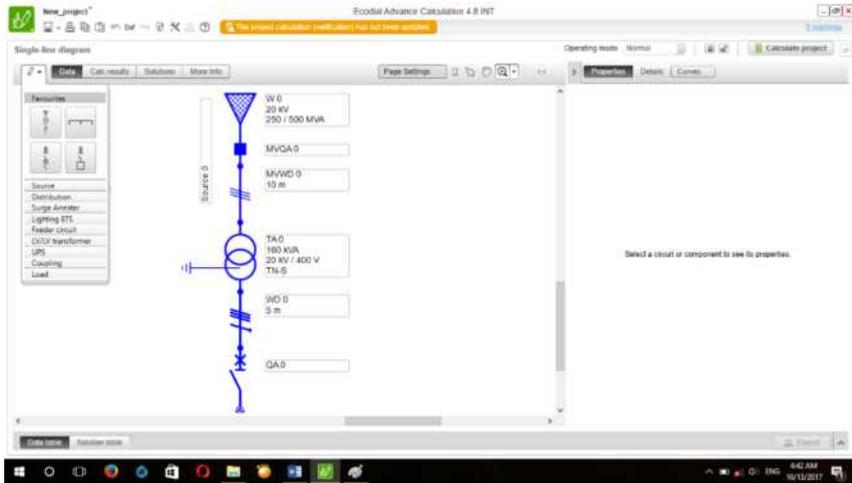


Gambar 4.12 Display Mask The Components

6. Tahap awal membuat *single line diagram* **klik** menu **Source** kemudian **klik** MV Source satu kali (gambar dalam kotak merah), lalu **klik** satu kali pada *single line diagram* untuk meletakkannya. Langkah berikutnya setting data komponen dengan klik pada *Single Line Diagram Source*.

Single-line diagram

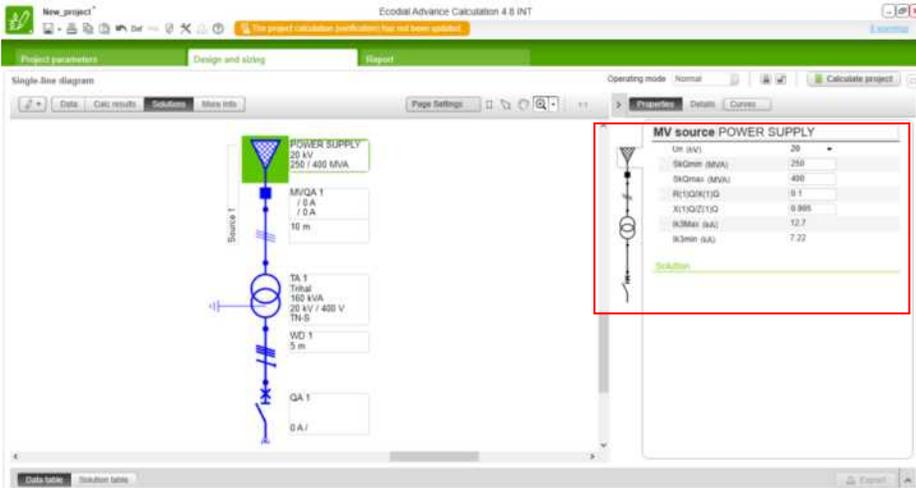




Gambar 4.13 Menu Source

7. Cara setting untuk MV Source klik pada *Power Grid* satu kali selanjutnya ganti nama dengan *Power Supply* lalu isikan data pada *Tabpropertis* seperti Gambar 4.14 di bawah.

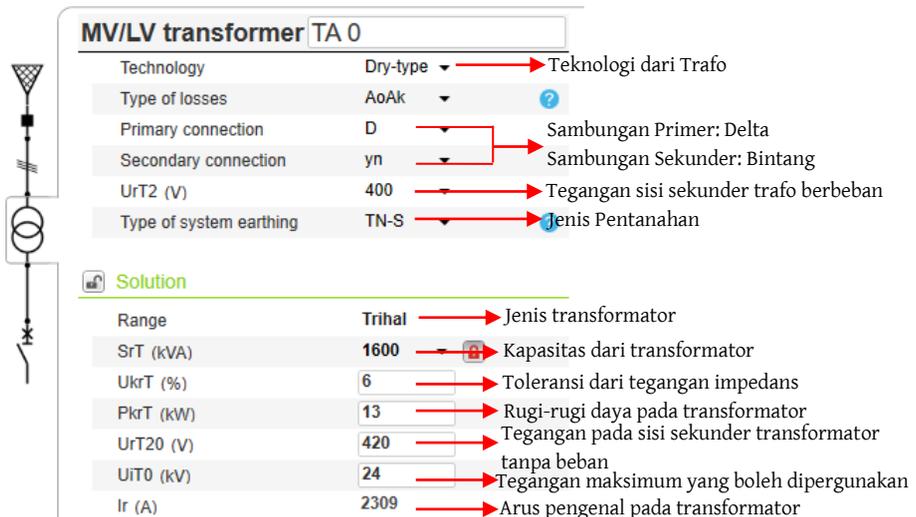
Property	Value	Description
Un (kV)	20	Tegangan Menengah setting sesuai dengan sumber PLN
SkQmin (MVA)	250	Daya minimum
SkQmax (MVA)	500	Daya maksimum
MV cable length (m)	10	
Technology	Dry-type	Jenis transformator
UrT2 (V)	400	Tegangan sekunder transformator saat berbeban
Type of system earthing	TN-S	
Cable length (m)	5	
Ib (A)	144	Nilai Ib akan otomatis muncul menyesuaikan dengan beban yang dipasang



Gambar 4.14 Setting MV Source

Jaringan distribusi sekunder mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV karena PLN di negara Indonesia saat ini hanya menyediakan tegangan 20 kV maka Un kV kita setting 20 kV

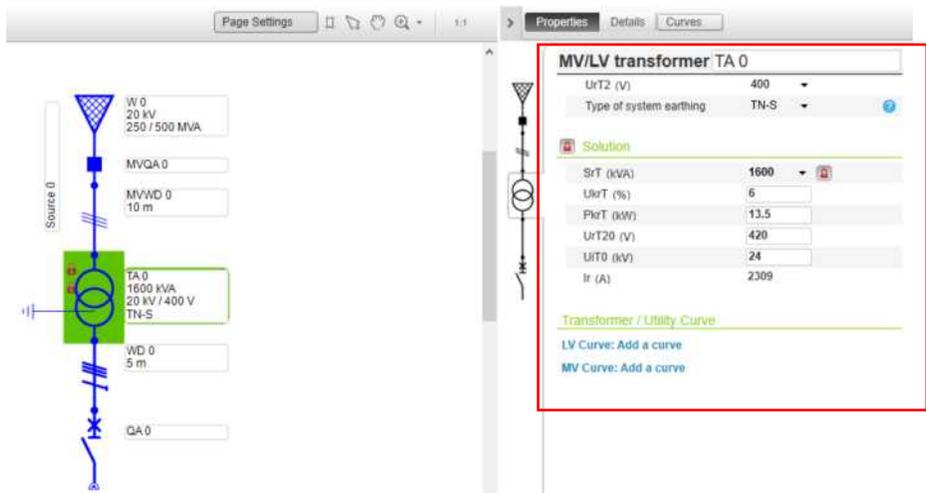
8. Setting transformator dengan cara klik pada MV/LV Transformer satu kali selanjutnya ganti dengan nama Transformator dengan T1 lalu isikan data pada Tab properti seperti Gambar 4.15 di bawah.



Gambar 4.15 Setting Transformator

Arti dari data diatas adalah:

- UrT2/ Un** Tegangan sisi sekunder transformator saat berbeban
- SrT (kVA)/ Pn** Kapasitas dari trafo (kVA) kita setting 1600 kVA
- UkrT/ Usc** Toleransi dari tegangan impedans. Berdasarkan data pada SPLN Usc dari kapasitas dari transformator 1600 kVA adalah 6%.
- PkrT/ Pcu** Rugi-rugi daya pada transformator. Jika menggunakan kapasitas transformator 1600 kVA maka rugi-rugi dayanya adalah 1355 watt
- UkrT20/ U20** Tegangan pada sisi sekunder transformator tanpa beban. Faktor Tegangan (1.05 untuk tegangan kurang dari 1kV



Gambar 4.16 MV/ LV Transformer

9. Setting kabel pada titik A dengan cara **klik** pada Kabel di titik A satu kali selanjutnya ganti nama dengan Kabel 1 kemudian isikan data sesuai pada *Tab properties* seperti gambar di bawah.

LV cable Kabel 1

Size with current	Ir	?
Type	LV cable	?
Cable length (m)	5	?
Conductor metal of phase(s)	Copper	?
Conductor metal of PE	Copper	?
Insulation	XLPE	?
Live conductors	Multi-core	?
PE	Separate PE	?
Installation method	31 / E	?
Multi-core cables on horizontal perforated tray Modify the installation method		
Max. permissible CSA (mm ²)	300	?
THDI3 (%)	0	?
ΔU max. circuit (%)	2	?
Correction factor	1	?

Solution

[Select a product in the catalogue.](#)

Gambar 4.17 Setting cable

Cabel length (m) digunakan untuk *setting* panjang kabel dengan satuan meter, kemudian untuk *setting* jumlah kabel dan luas penampang pada kabel, **klik** pada *a product in the catalogue* maka akan muncul Gambar 4.18 seperti di bawah ini.

Select a cable.



1. Selection

Calculated products Entire catalogue

Live conductors Multi-core Single-core Insulated	Composition 2Ph 3Ph+PE 3Ph+N 3Ph+N2 3Ph+N+PE 3Ph+N2+PE 3Ph+PEN 3Ph+PEN+N2	Insulation Halogen free, 70°C Halogen free, 90°C XLPE 90° PVC Rubber, 70°C Rubber, 85°C	Conductor metal of phase Aluminium Copper	Phase CSA 95 120 150 185 240 300 400 500 A30
Nbr. per phase 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Conductor metal of neutral Copper	Neutral CSA 95 120 150 185 240 300 400 500 A10	Nbr. neutral 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Conductor metal of PE Aluminium Copper

2. Product

Live conductors	Single-core	Composition	3Ph+N+PE
Insulation	PVC	Conductor metal of phase	Copper
Phase CSA	240	Nbr. per phase	4
Conductor metal of neutral	Copper	Neutral CSA	240
Nbr. neutral	1	Conductor metal of PE	Copper
PE CSA	240	Nbr. PE	1

OK

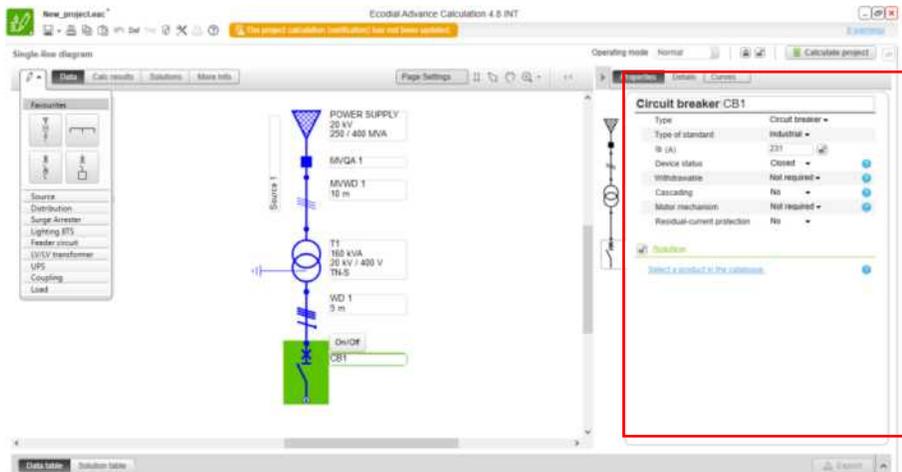
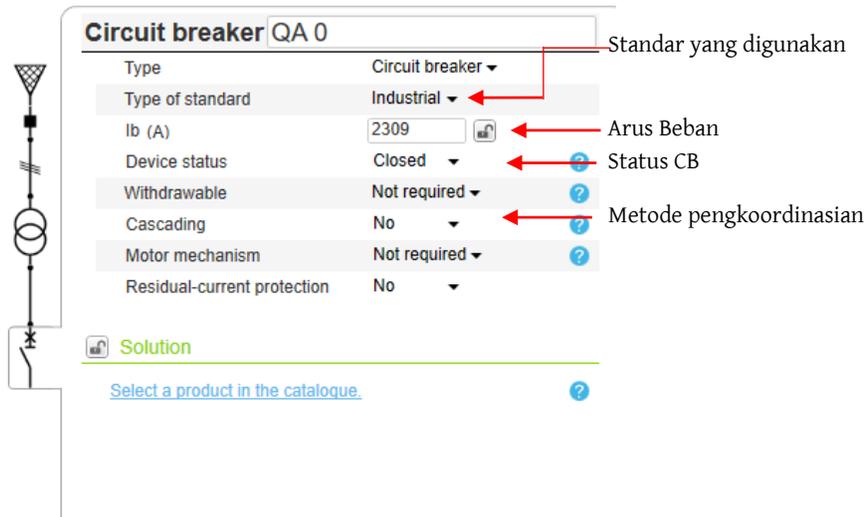
Cancel

Gambar 4.18 Setting Cable in select a Cable

Diketahui pada soal untuk setting kabel pada titik A adalah kabel dengan:

live conductors	: single-core
composition	: 3 fase+ N+ PE
insulation	: PVC
conductor metal of phase	: copper
Nbr. Per Phase/Neutral/PE	: 4
Phase csa (luas penampang)	: 240 mm ²
Neutral csa (luas penampang)	: 240 mm ²
PE csa (luas penampang)	: 240 mm ²

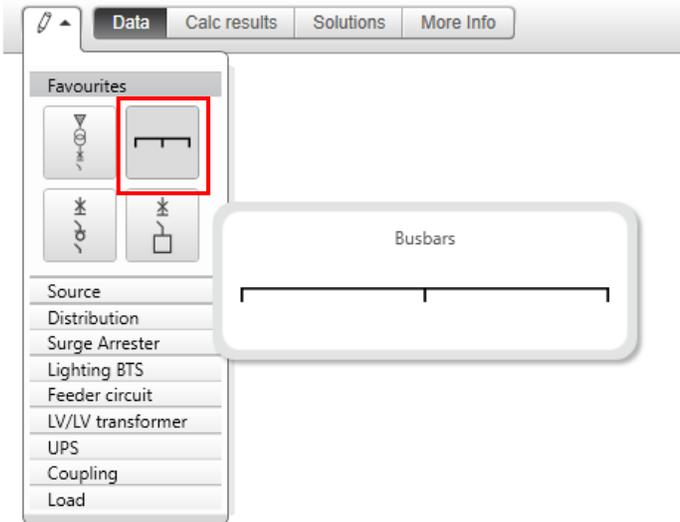
- Setting untuk pengaman dengan cara **klik** pada *Circuit Breaker* satu kali selanjutnya ganti dengan nama CB1 lalu isikan data pada Tab properti seperti gambar di bawah.



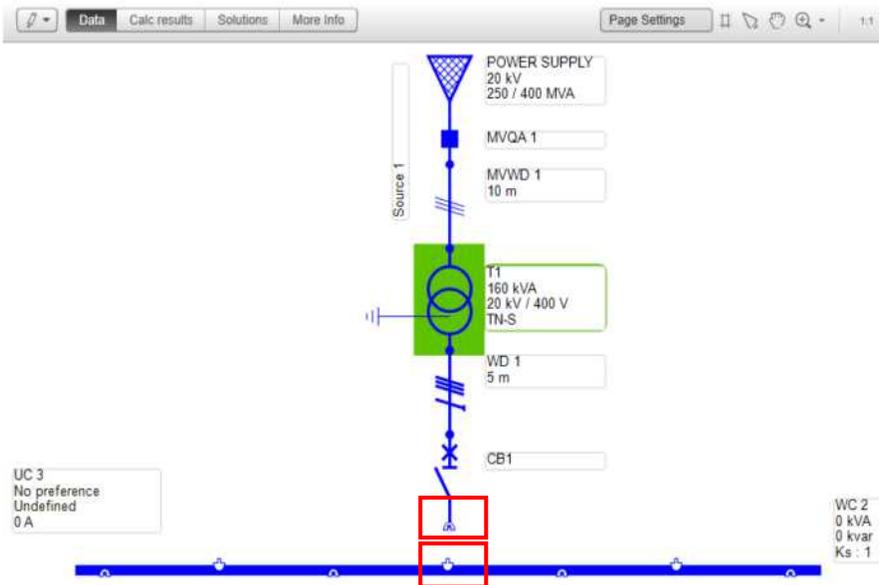
Gambar 4.19 Setting Circuit Breaker

- Langkah berikutnya tambahkan busbar dengan cara **klik** menu *Distribution* selanjutnya klik Busbar satu kali, lalu **klik** satu kali pada *one line diagram* untuk meletakkannya. Lihat gambar untuk pemasangan Busbar, pasang busbar pada rangkaian (lihat gambar pada kotak berwarna merah).

Single-line diagram



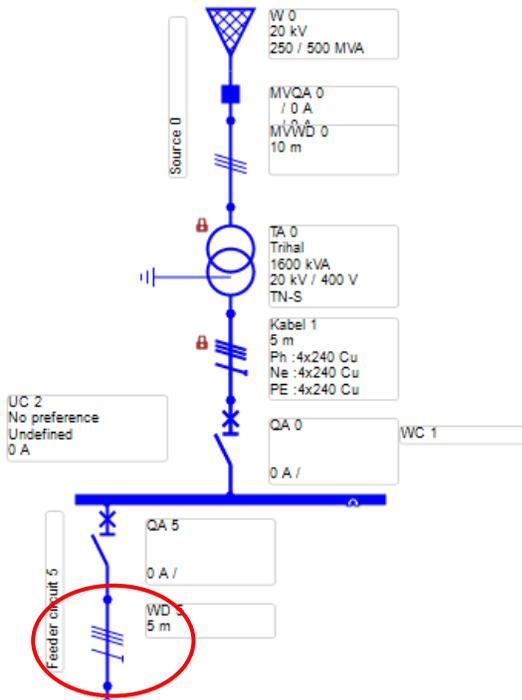
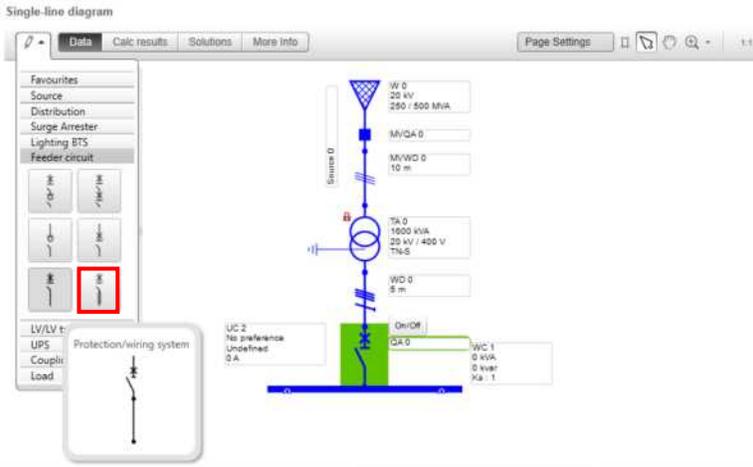
Single-line diagram



Gambar 4.20 Setting Busbars

12. **Klik** menu *Feeder Circuit* selanjutnya **klik** *Feeder Protection/ Wiring system* satu kali, lalu **klik** satu kali pada *one line diagram* untuk

meletakkannya. Lihat Gambar 4.21 untuk pemasangan *feeder* kemudian *setting* panjang kabel seperti di bawah.



Gambar 2.21 Setting Feeder Circuit

Select a cable.

1. Selection

The screenshot shows the 'Select a cable' interface with the following settings:

- Calculated products** (radio button) / **Entire catalogue** (radio button, selected)
- Live conductors:** Single-core
- Composition:** 3Ph+N+PE
- Insulation:** PVC
- Conductor metal of phase:** Copper
- Phase CSA:** 95
- Nbr. per phase:** 1
- Conductor metal of neutral:** Copper
- Neutral CSA:** 95
- Nbr. neutral:** 1
- Conductor metal of PE:** Copper

2. Product

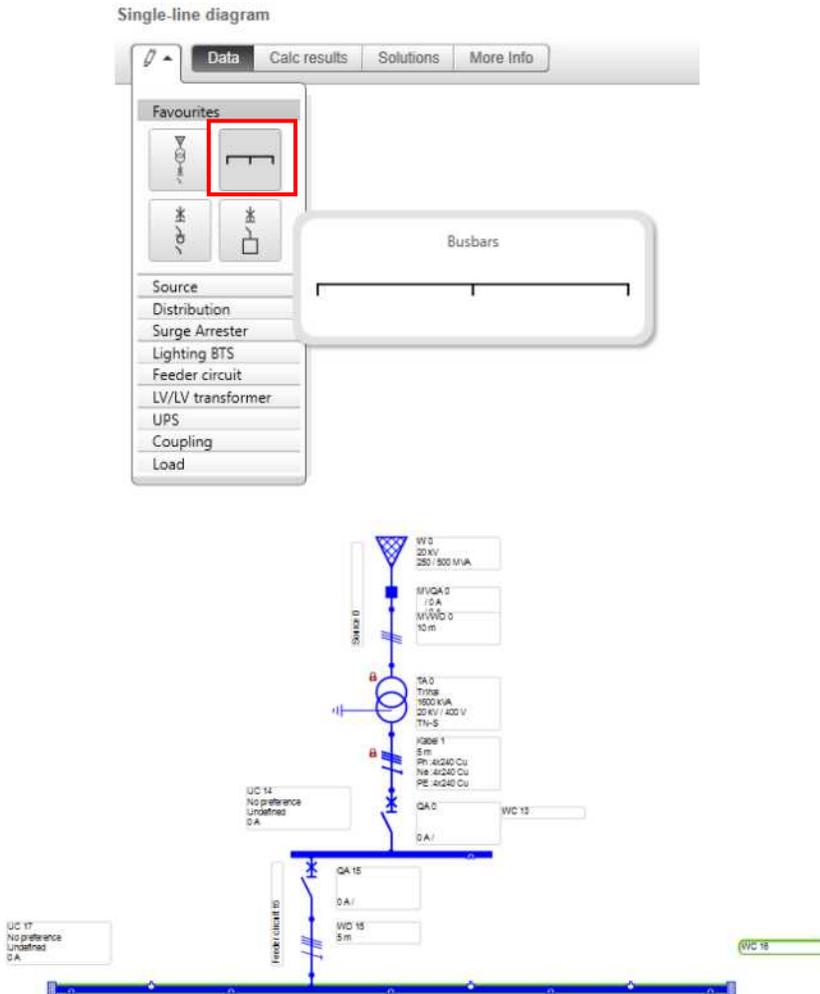
Live conductors	Single-core	Composition	3Ph+N+PE
Insulation	PVC	Conductor metal of phase	Copper
Phase CSA	95	Nbr. per phase	1
Conductor metal of neutral	Copper	Neutral CSA	95
Nbr. neutral	1	Conductor metal of PE	Copper
PE CSA	95	Nbr. PE	1

Gambar 4.22 Setting cable in select a cable

Diketahui pada soal untuk setting kabel pada titik B adalah

- live conductors : single-core
- composition : 3 fase+ N+ PE
- insulation : PVC
- conductor metal of phase : copper
- Nbr. Per Phase/Neutral/PE : 1
- Phase csa (luas penampang) : 95 mm²
- Neutral csa (luas penampang) : 95 mm²
- PE csa (luas penampang) : 95 mm²
- Panjang kabel : 100 m

13. Tambahkan busbar pada rangkaian dengan cara **klik** menu *Distribution* selanjutnya **klik** Busbar satu kali, lalu **klik** satu kali pada *one line diagram* untuk meletakkannya. Lihat gambar di bawah untuk pemasangan Busbar.



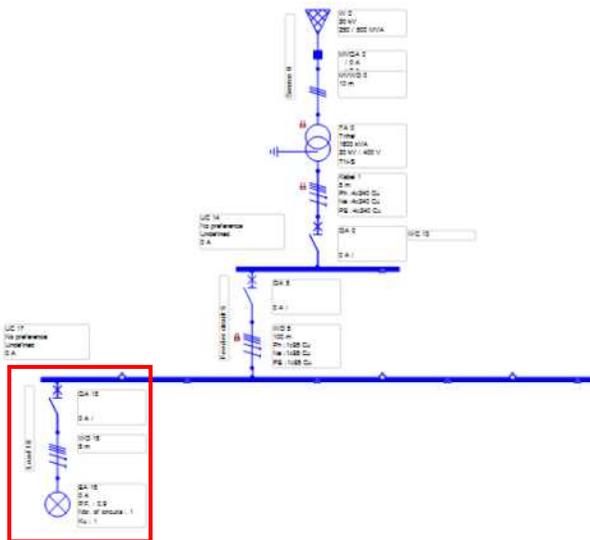
Gambar 4.23 Setting Setting Busbars

Karena beban yang akan kita gunakan berjumlah 5, maka panjangkan busbar yang akan kita hubungkan pada beban seperti Gambar 4.23.

14. Tambahkan beban pada rangkaian dengan cara **klik** menu *Load*, **klik** *Load* berupa *Lighting* satu kali, lalu **klik** satu kali pada *one line diagram* untuk meletakkannya. Lihat gambar untuk pemasangan *Load* selanjutnya *setting Lighting* seperti pada Gambar 4.24 di bawah.

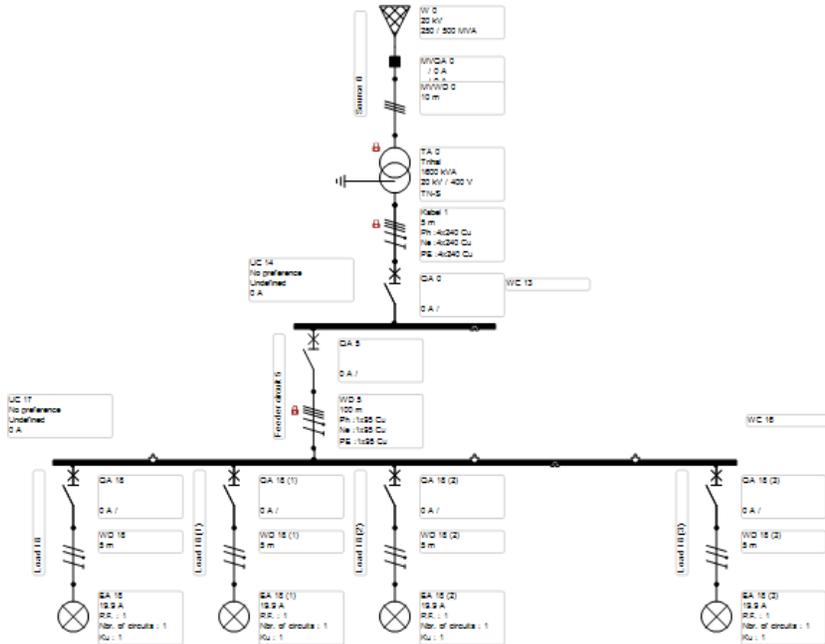
Single-line diagram

Lighting load EA 18	
Type of lamp	Standard incandescent lamp
Lamp unit P (W)	100 → Daya Lampu
Ballast unit P (W)	0
Nbr. of luminaires	1
Nbr. of lamps per luminaire	46 → Jumlah Lampu
P.F.	1
Ia (A)	19.9 → Arus beban
Ku	1
Nbr. of circuits	1
Number and type of conductors	1Ph+N → Sumber tegangan
Connection	L1-N
ΔU tolerance (%)	4
Final load	Yes
Non-linear load	No
THDi3 (%)	0
Sr (kVA)	4.6
Total rated power (kW)	4.6
Ir (A)	19.9



Gambar 4.24 Setting Beban Lampu di Titik C

- Setting untuk beban pada titik C, D, E dan G sama seperti langkah No.13 dan No. 14, sehingga peletakan beban akan seperti Gambar 4.25 di bawah ini.



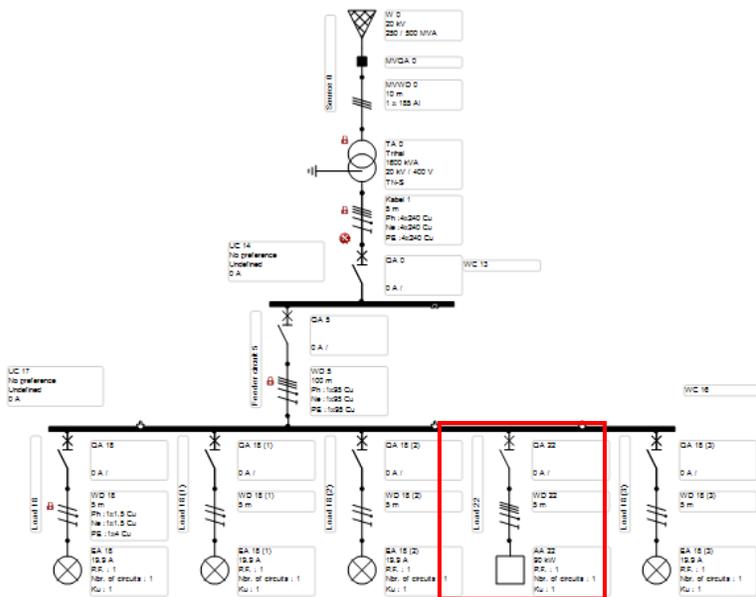
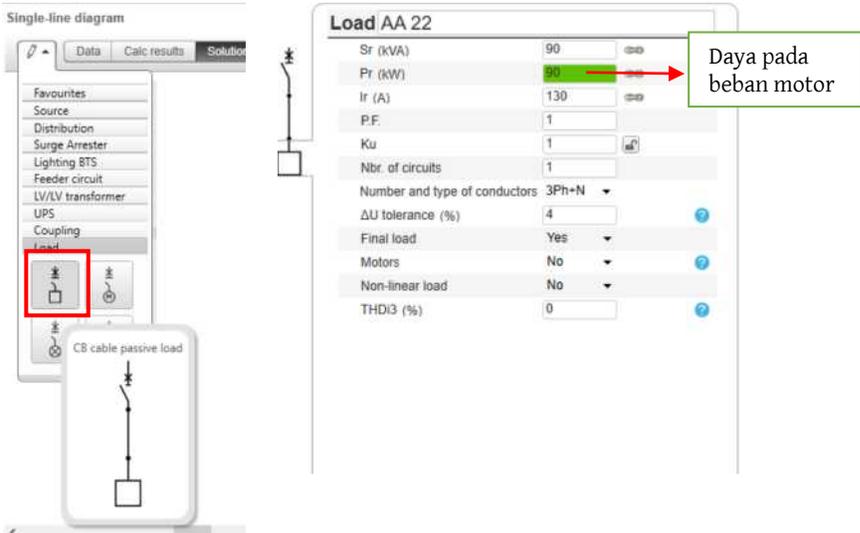
Gambar 4.25 Setting Beban Lampu di Titik C, D, E, G

Beban lampu kita setting dengan sumber 1 Phase, **perhatikan setting pada number and type of conductor yang awalnya 3 phase + N ganti menjadi 1 Phase + N.**

- Setting kabel untuk beban C, D, E, G sesuai dengan soal caranya sama seperti langkah kerja 13 bedanya hanya pada:

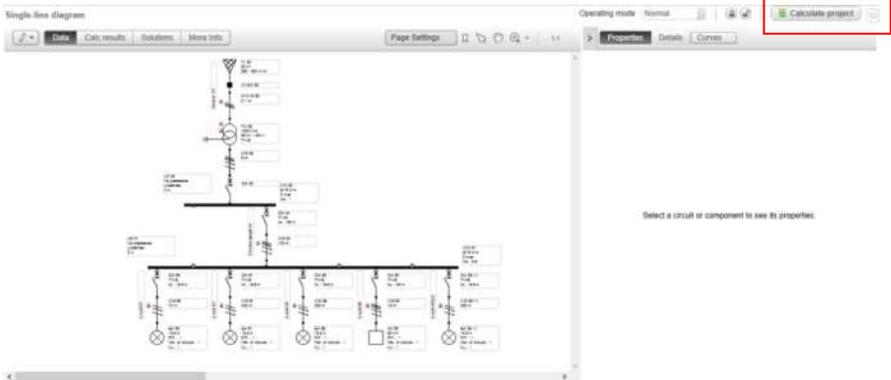
live conductor : diganti dengan multi-core
composition : 1 phase + N + PE

- Setting beban pada titik F dengan cara, **klik** menu *Load* selanjutnya **klik** *Load* berupa *Passive Load* satu kali, lalu **klik** satu kali pada *one line diagram* untuk meletakkannya. Lihat gambar untuk pemasangan *load setting* seperti pada Gambar 52 di bawah.



Gambar 4.26 Setting Beban Passive Load

Untuk melihat hasil dari *single line diagram* yang sudah dibuat dan disetting selanjutnya **klik** menu *calculate project*.



Gambar 4.27 Calculate Project

Klik menu *Details* untuk melihat semua data yang sudah dimasukkan dan hasil dari *calculate project*.

BAB V

APLIKASI ECODIAL PADA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT

Gangguan hubung singkat adalah gangguan yang mengakibatkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Ditinjau dari lama berlangsungnya, gangguan hubung singkat terdiri atas dua macam, yaitu:

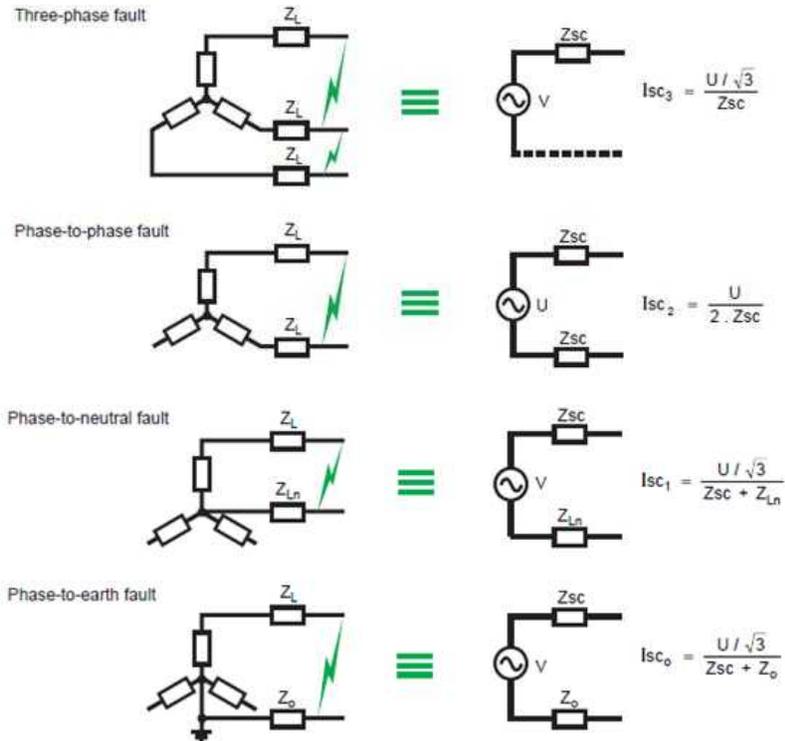
a. Gangguan Hubung Singkat Permanen

Gangguan hubung singkat permanen adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung dengan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator.

b. Gangguan Hubung Singkat Temporer

Gangguan hubung singkat temporer adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung sementara. Gangguan hubung singkat ini disebabkan oleh sambaran petir, dan pada SUTM dapat disebabkan karena tiupan angin.

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada sistem tenaga listrik terdiri atas gangguan hubung singkat 3 fasa, hubung singkat 2 fasa, hubung singkat 2 fasa ke tanah, dan hubung singkat 1 fasa ke tanah. Berdasarkan analisis gangguan hubung singkat, arus gangguan hubung singkat 3 fasa adalah gangguan hubung singkat yang menghasilkan arus hubung singkat terbesar. Gambar berikut menunjukkan berbagai jenis gangguan hubung singkat dalam sistem tenaga listrik dan rumus untuk mencari nilai gangguan hubung singkat.



Gambar 5.1 Jenis Gangguan Hubungan Singkat

Rumus untuk menghitung arus hubung singkat 3 phase adalah sebagai:

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

Dimana:

U₂₀ = Sisi sekunder transformator tanpa beban (V)

Z_T = Total impedansi (Ω)

I_{sc} = Arus hubung singkat (kA)

Dalam suatu jaringan listrik semua elemen resistansi dan reaktansi dihubungkan secara seri di jaringan sehingga untuk mencari nilai arus hubung singkat pada beban maka kita harus menjumlahkan nilai R dan X dari MV source, transformer, dan kabel. Impedansi total (Z_T) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Untuk mencari resistansi dan reaktansi pada jaringan hulu/ MV Source pada transformer MV dapat menggunakan Tabel 5.1 di bawah ini:
Tabel 5.1 Nilai Reaktansi dan Resistansi pada Upstream

Psc	Uo (V)	Ra (mΩ)	Xa (mΩ)
250 MVA	420	0.07	0.7
500 MVA	420	0.035	0.351

Untuk mencari nilai Ztr pada transformer kita menggunakan rumus di bawah:

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$$

Dimana:

Ztr : impedansi transformer

Pn : Kapasitas dari trafo (kVA)

Usc : Toleransi dari tegangan impedans (%)

Resistansi lilitan pada transformers (Rtr) dapat dicari dari rumus total rugi-rugi transformator berikut ini:

$$P_{cu} = 3I_n^2 \times R_{tr}$$

sehingga

$$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$$

Dimana:

Pcu : Rugi-rugi transformator (kW)

In : Arus nominal beban penuh (A)

Rtr : Resistansi dari transformator (mili ohm)

Untuk mencari reaktansi transformator dapat menggunakan rumus:

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Reaktansi dan resistansi pada kabel dapat menggunakan rumus:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

dan

$$X = 0.08 \times L$$

Dimana:

ρ : Hambatan jenis

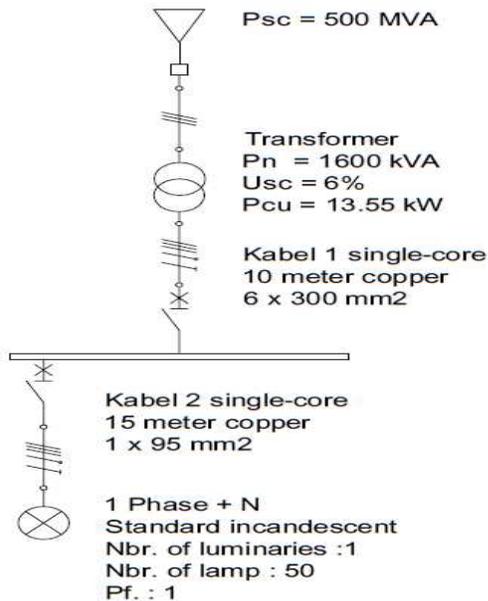
- 22.5 Ω .mm²/km for copper
- 36 Ω .mm²/km for aluminium

L : Panjang kabel (km)

A : Luas Penampang/ C.s.a (mm²)

Contoh perhitungan mencari gangguan hubung singkat:

Diketahui *single line diagram* pada jaringan distribusi dengan beban 50 buah lampu pijar dengan daya masing-masing lampu 100 W. Hitunglah drop tegangan pada beban lampu!



Gambar 5.2 Soal Gangguan Arus Hubung Singkat

Solusi:Cari nilai I_n terlebih dahulu

$$I_n = \frac{P_n \text{ (kVA)}}{\sqrt{3} \times U_n}$$

$$I_n = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400^2} = 2309.4$$

Cari impedansi transformator

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$$

$$Z_{tr} = \frac{420^2}{1600} \times \frac{6}{100} = 6.615 \text{ } \Omega$$

Cari rasistansi taransformator

$$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$$

$$R_{tr} = \frac{13.55 \times 10^3}{3 \times 2309.4^2} = 0.846 \text{ } \Omega$$

cari nilai reaktansi transformator:

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

$$X_{tr} = \sqrt{6.615^2 - 0.846^2} = 6.56 \text{ m}\Omega$$

Carilah nilai X Kabel 1

$$X = 0.08 \times L$$

$$X_{kabel 1} = 0.08 \times 0.01 = 0.8 \text{ m}\Omega$$

Carilah nilai R_T

$$R_T = R_{MV \text{ Source}} + R_{tr} + R_{kabel 1}$$

$$R_T = 0.035 + 0.846 + 0.125 = 0.246 \text{ m}\Omega$$

Carilah nilai X_T

$$X_T = X_{MV \text{ Source}} + X_{tr} + X_{kabel 1}$$

$$X_T = 0.351 + 6.56 + 0.8 = 7.711 \text{ m}\Omega$$

Carilah nilai I_{sc} menggunakan rumus di bawah ini

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

$$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3} \times \sqrt{0.246^2 + 7.711^2}} = 31.$$

Carilah nilai R kabel 1

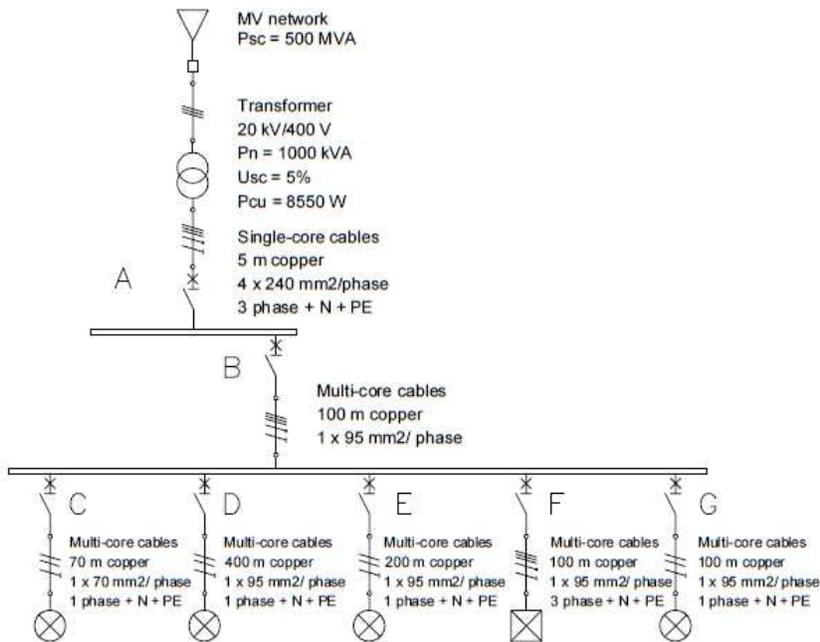
$$R = \frac{\rho L}{A}$$

$$R_{\text{kabel 1}} = \frac{22.5 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{km}} \times 0.01 \text{ km}}{6 \times 300 \text{ mm}^2} = 0.125 \text{ m}\Omega$$

A. Diagram Garis Tunggal

Aplikasi Ecodial pada simulasi ini di contohkan menggunakan sistem kelistrikan dengan sumber energi listrik berasal dari satu Gird. Gird sendiri diibaratkan sebagai suatu jaringan besar yang di dalamnya terdapat sistem pembangkitan dan transmisi dimana daya yang dibangkitkan tidak terbatas, sehingga kita dapat mendesain sistem kelistrikan sesuai yang kita inginkan tanpa khawatir akan kemampuan daya yang mampu untuk disuplai.

Sistem kelistrikan yang akan dibuat menggunakan dua bus, beban listrik terdiri dari empat buah lampu dan satu buah pasive load. Sistem juga dipasang beberapa proteksi, yaitu menggunakan *circuit breaker*. Pengaman pada jaringan distribusi cukup menggunakan *circuit breaker* saja karena pada jaringan distribusi tidak diperlukannya relai-relai. Berikut ini adalah gamabar diagram satu garis jaringan kelistrikan yang akan dibuat.

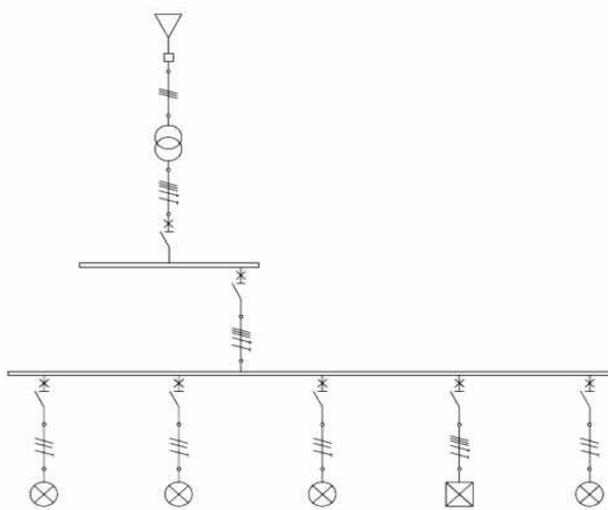


Gambar 5.3 Satu Garis Jaringan Listrik

Dapat dilihat pada Gambar 5.4 beban yang digunakan berjumlah 4 lampu pijar dan satu buah beban pasive. Beban pada titik C, D, E, G berupa lampu pijar dengan daya 100 Watt yang berjumlah 100 buah pada masing-masing titik. Sumber tegangan beban menggunakan 1 phase. Beban pada titik F berupa beban pasif dengan daya 90 kW dan $\cos \phi = 1$

Sebelum memulai simulasi langkah pertama yang kita lakukan adalah menggambar single line diagram seperti gambar 5.4. Setelah selesai menggambar langkah selanjutnya adalah menyesuaikan parameter-parameter yang ada pada rangkaian gambar satu garis. Berikut ini langkah-langkah dalam pembuatan single line diagram dan penyetingan parameter yang ada pada jaringan kelistrikan yang dibuat.

Buka *software* Ecodial pada laptop dan **klik** *Create a New Project* untuk membuka lembar kerja yang baru. Gambar *single line diagram* seperti gambar pada soal. Berikut contoh gambar *single line diagram* yang sudah dibuat pada *software* Ecodial.



Gambar 5.4 Gambar Single Line Diagram

Setelah selesai menggambar *single line diagram* setting data pada *software* Ecodial sesuai dengan data yang diminta pada gambar 5.4. Berikut contoh setting data pada *Transformer*

MV/LV transformer TA 22	
UrT2 (V)	400
Type of system earthing	TN-S
Solution	
SrT (kVA)	1000
UkrT (%)	5
PkrT (kW)	8.55
UrT20 (V)	420
UIT0 (kV)	24
Ir (A)	1443

Transformer / Utility Curve

LV Curve: [Add a curve](#)

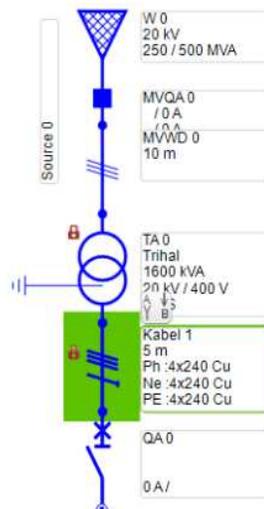
MV Curve: [Add a curve](#)

Gambar 5.5 Setting Transformator

Berikut ini penjelasan mengenai simbol pada setting transformator dan penjelasan dari mana data tersebut diperoleh.

- UrT2/ Un** : Tegangan sisi sekunder transformator saat berbeban
- SrT (kVA)/ Pn** : Kapasitas dari trafo (kVA) kita setting 1.000 kVA
- UkrT/ Usc** : Toleransi dari tegangan impedans. Berdasarkan data pada SPLN. Usc dari kapasitas dari transformator 1000 kVA adalah 5%.
- PkrT/ Pcu** : Rugi-rugi daya pada transformator. Nilai rugi-rugi daya pada transformator dapat kita lihat pada tabel SPLN. Jika menggunakan kapasitas transformator 1.000 kVA maka rugi-rugi dayanya adalah 8.550 watt
- UkrT20/ U20** : Tegangan pada sisi sekunder transformator tanpa beban. Faktor Tegangan (1.05 untuk tegangan kurang dari 1kV, 1.1 untuk tegangan lebih dari 1kV) berdasarkan pada Tabel IEC
- UiT0** : Rated voltage adalah tegangan maksimum yang boleh gunakan

Setting kabel pada titik A dengan cara **klik** pada Kabel di titik A satu kali selanjutnya ganti nama dengan Kabel 1 kemudian isikan data sesuai pada *Tab properties* seperti gambar di bawah.



LV cable Kabel 1

Size with current: Ir

Type: LV cable

Cable length (m): 5

Conductor metal of phase(s): Copper

Conductor metal of PE: Copper

Insulation: XLPE

Live conductors: Multi-core

PE: Separate PE

Installation method: 31 / E

Multi-core cables on horizontal perforated tray: [Modify the installation method](#)

Max. permissible CSA (mm²): 300

THDI3 (%): 0

ΔU max. circuit (%): 2

Correction factor: 1

Solution

[Select a product in the catalogue](#)

Gambar 5.6 Setting cable

Cabel length (m) digunakan untuk setting panjang kabel dengan satuan meter, kemudian untuk setting jumlah kabel dan luas penampang pada kabel, **klik** pada *a product in the catalogue* maka akan muncul Gambar 5.7 seperti di bawah ini.

Select a cable. ✕

1. Selection

Calculated products Entire catalogue

<p>Live conductors</p> <p>Multi-core</p> <p>Single-core</p> <p>Insulated</p>	<p>Composition</p> <p>3Ph</p> <p>3Ph+PE</p> <p>3Ph+N</p> <p>3Ph+NE</p> <p>3Ph+N+PE</p> <p>3Ph+N+PE</p> <p>3Ph+PEN</p> <p>3Ph+PEN+NE</p>	<p>Insulation</p> <p>Halogen free, 70°C</p> <p>Halogen free, 90°C</p> <p>XLPE 90°</p> <p>PVC</p> <p>Rubber: 70°C</p> <p>Rubber: 85°C</p>	<p>Conductor metal of phase</p> <p>Aluminium</p> <p>Copper</p>	<p>Phase CSA</p> <p>95</p> <p>120</p> <p>150</p> <p>185</p> <p>240</p> <p>300</p> <p>400</p> <p>500</p> <p>630</p>
<p>Nbr. per phase</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p>	<p>Conductor metal of neutral</p> <p>Copper</p>	<p>Neutral CSA</p> <p>95</p> <p>120</p> <p>150</p> <p>185</p> <p>240</p> <p>300</p> <p>400</p> <p>500</p> <p>630</p>	<p>Nbr. neutral</p> <p>1</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>5</p> <p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p>	<p>Conductor metal of PE</p> <p>Aluminium</p> <p>Copper</p>

2. Product

Live conductors	Single-core	Composition	3Ph+N+PE
Insulation	PVC	Conductor metal of phase	Copper
Phase CSA	240	Nbr. per phase	4
Conductor metal of neutral	Copper	Neutral CSA	240
Nbr. neutral	1	Conductor metal of PE	Copper
PE CSA	240	Nbr. PE	1

OK Cancel

Gambar 5.7 Setting Cable in select a Cable

Diketahui pada soal untuk setting kabel pada titik A adalah kabel dengan:

live conductors	: single-core
composition	: 3 fase+ N+ PE
insulation	: PVC
conductor metal of phase	: copper
Nbr. Per Phase/Neutral/PE	: 4
Phase csa (luas penampang)	: 240 mm ²
Neutral csa (luas penampang)	: 240 mm ²
PE csa (luas penampang)	: 240 mm ²

Setelah selesai menyetting kabel pada rangkaian diatas maka settinglah beban pada rangkaian. Contoh setting beban lampu pada soal adalah sebagai berikut ini. Setting beban pada titik C:

Lighting load EA 62	
Type of lamp	Standard incandescent lamp → Jenis Lampu
Lamp unit P (W)	100 → Daya Lampu
Ballast unit P (W)	0
Nbr. of luminaires	1
Nbr. of lamps per luminaire	46 → Jumlah Lampu
P.F.	1
Ia (A)	19.9
Ku	1
Nbr. of circuits	1
Number and type of conductors	1Ph+N → Sumber Tegangan
Connection	L1-N
ΔU tolerance (%)	4
Final load	Yes
Non-linear load	No
THDi3 (%)	0
Sr (kVA)	4.6
Total rated power (kW)	4.6
Ir (A)	19.9

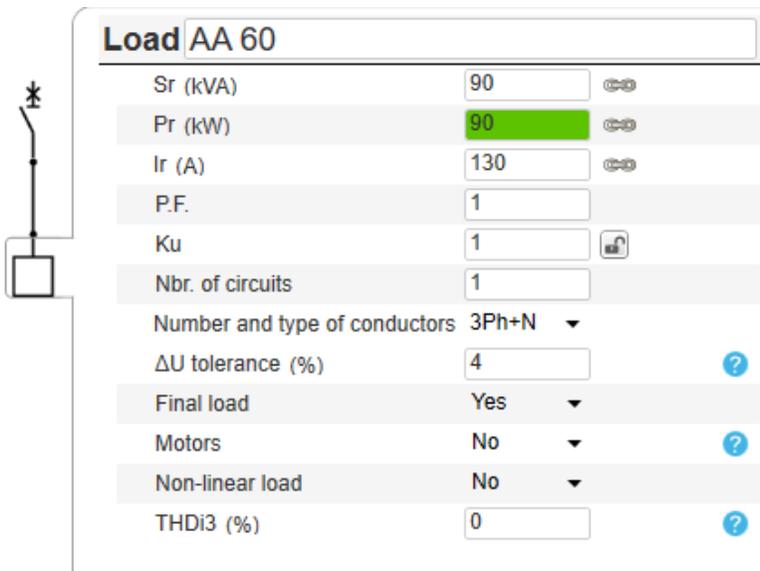
Solution

Gambar 5.8 Setting Beban Lampu

Untuk setting beban lampu pada titik D, E, G sesuai sama kecuali pada **Connection**.

- Beban lampu pada titik C connection : L1 + N
- Beban lampu pada titik D connection : L2 + N
- Beban lampu pada titik E connection : L3 + N
- Beban lampu pada titik G connection : L1 + N

Setelah selesai melakukan setting beban lampu, maka lakukan setting beban *passive load*. Berikut cara penyetingan untuk beban *passive load*.



Gambar 5.9 Setting Pasive Load

Jika sudah selesai melakukan setting pada semua data di *software* Ecodial sesuai dengan yang diminta oleh soal maka selanjutnya simulasikan rangkaian pada *software* ecodial dengan menekan **calculate project**. Perhatikan *StatusBar*, jika status bar memberikan status alarm maka periksa ulang data yang inputkan.



Gambar 5.10 Status Bar

Untuk melihat detail peringatan maka **klik** seperti pada gambar berikut



Gambar 5.11 Alarm Message

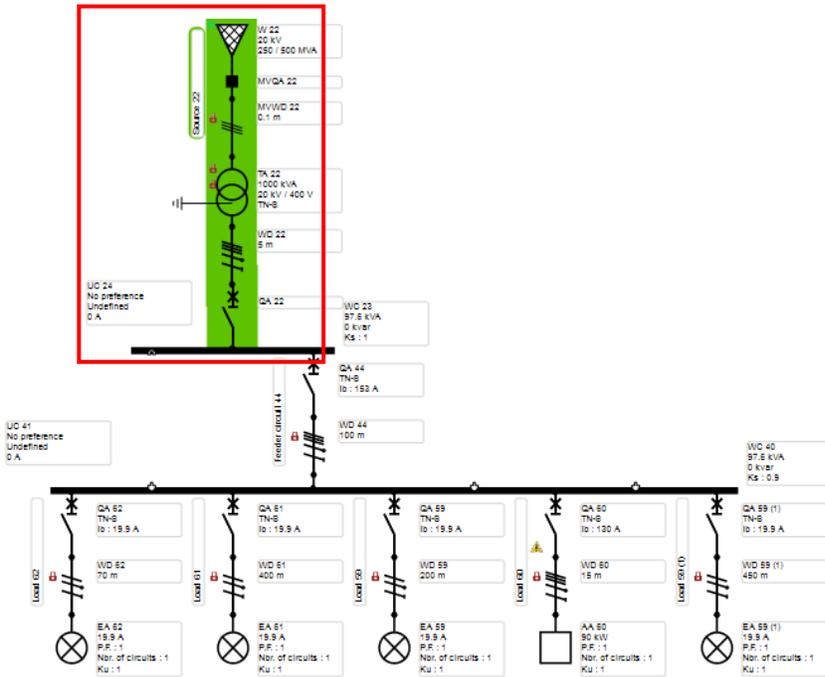
Maka akan muncul tampilan seperti berikut. Bacalah dengan saksama pesan pada peringatan dan temukan cara mengatasi permasalahan yang terjadi pada simulasi

Criticality	Type	Circuit	Component	Message
Warning	Sizing	LUC 2	WC 1	The power factor (0.898) is less than the target PF of the busbar (0.95). You must add a capacitor bank when the installation is fed by a transformer or by a LV source.
Warning	Sizing	MAIN POWER	T1	The transformer is undersized. The selected transformer rating (250 kVA) is lower than the required rating (290 kVA).
Warning	Discrimination	MAIN POWER	CB1	There is a discrimination problem between protective devices CB1 and MV/GA.0 in operating mode Normal.
Information	Sizing	Installation	N/A	Installation sizing finished in 11 s.

Gambar 5.12 Alarm Message

B. Simulasi Gangguan Hubung Singkat

Simulasi gangguan hubung singkat dapat dilihat dari **simulasi gangguan arus hubung singkat** pada tab details. Contoh gangguan hubung singkat pada titik A pada *software* Ecodial yang dapat kita lihat pada tab **details** setelah kita simulasikan dengan menekan tombol **calculate**. Klik terlebih dahulu SLD pada titik A



Gambar 5.13 SLD pada Titik A untuk Simulasi Arus Gangguan Hubung Singkat

Selanjutnya klik tab details dan cari tulisan pada **Short Circuit Current** seperti gambar di bawah ini. Untuk mengetahui nilai gangguan arus hubung singkat 3 phase pada Titik A yaitu dengan melihat nilai pada I_{k3max} .

Properties							
Details							
Curves							
Cross section area	2x240 mm ²						
Core	Copper						
Short circuit current							
	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	Ief	Ief2min
Operating mode Normal							
(kA)	27.32	23.66	26.95	19.67	22.40	22.7	0.00
						2	
Synthesis for all operating mode							
(kA)	27.32	23.66	26.95	19.67	22.40	22.7	0.00
						2	
Calculation results in accordance with CENELEC technical report TR50480. All assumptions and device choices are the user's responsibility.							
Circuit breaker							
	QA 22						
Ib	1443 A						
Distance from origin	NA						
Sizing Information							
	Sized by system						
Range	Masterpact NT						
Designation	NT16H1						

Gambar 5.14 Short Circuit Current

Keterangan pada hasil simulasi hubung singkat dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Arus hubung singkat pada *software* Ecodial dapat menghitung arus hubung singkat tiga fasa, arus hubung singkat dua phase, arus hubung singkat tiga phase, dan arus hubung singkat pentanahan.

Tabel 5.2 Keterangan Untuk simbol Arus Hubung Singkat

Simbol	Keterangan
Ik3max	Arus hubung singkat tiga phase maksimum
Ik3min	Arus hubung singkat tiga phase minimum
Ik2max	Arus hubung singkat dua phase maksimum
Ik2min	Arus hubung singkat dua phase minimum
Ik1max	Arus hubung singkat satu phase maksimum
Ik1min	Arus hubung singkat satu phase minimum
Ief	Arus hubung singkat pentanahan
Ief2min	Arus hubung singkat pentanahan 2 fase minimum

Hasil simulasi dari *software* Ecodial dapat kita bandingkan dengan perhitungan secara manual dengan rumus yang telah dijabarkan di atas untuk mengetahui ketepatan dari perhitungan dari *software* Ecodial. Tabel berikut ini dapat digunakan untuk membandingkan hasil dari perhitungan simulasi *software* Ecodial dengan perhitungan secara manual dengan rumus-rumus yang ada. Amati nilai arus hubung singkat pada setiap titik (A, B, C, D, E, F, G) kemudian tuliskan hasil simulasi menggunakan *software* Ecodial pada Tabel 5.3 di bawah ini dan selesaikan tugas untuk membandingkan nilai arus hubung singkat.

Tabel 5.3 Perbandingan Hubung Singkat Ecodial 4.8 INT Terhadap Perhitungan Manual

Titik	Isc (kA)		Selisih hasil perhitungan & simulasi
	Ecodial	Manual	
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			

Tugas

1. Hitunglah secara teori nilai arus hubung singkat pada titik A, B, C, D, E, F, G tuliskan hasilnya pada Tabel.
2. Carilah selisih hasil dari simulasi menggunakan *software* Ecodial dan hasil perhitungan teori untuk gangguan arus hubung singkat tuliskan hasilnya pada Tabel.
3. Hitunglah secara teori nilai drop tegangan pada titik A, B, C, D, E, F, G tuliskan hasilnya pada Tabel.
4. Carilah selisih hasil dari simulasi menggunakan *software* Ecodial dan hasil perhitungan teori untuk drop tegangan tuliskan hasilnya pada tabel.

BAB VI

APLIKASI ECODIAL PADA GANGGUAN DROP TEGANGAN

Gangguan yang mungkin terjadi di sebuah jaringan distribusi tenaga listrik dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan distribusi maupun beban-beban listrik apabila gangguan tersebut tidak segera diisolir oleh perangkat proteksi. Salah satu gangguan yang sering terjadi dan paling banyak ditemui adalah drop tegangan pada jaringan distribusi.

Drop tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Drop tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya drop tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan drop tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti (PT PLN Persero, 2010).

Drop tegangan secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Drop tegangan ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Drop tegangan pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar semakin besar pula. Drop tegangan menyebabkan terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Penyebab timbulnya drop tegangan adalah:

- a. Arus beban puncak (ampere);
- b. Tahanan saluran (ohm/km);
- c. Panjang saluran (km)

Drop tegangan akan semakin besar jika satu atau lebih dari faktor diatas nilainya besar. Drop tegangan yaitu jatuh atau turunnya tegangan pada ujung saluran konsumen. Menurut SPLN No. 72 tahun 1987 pasal 4 ayat 19 tentang pengaturan tegangan dan turun tegangan, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja, sehingga tegangan pada STR dibolehkan sampai 4% dari tegangan kerja. Perhitungan drop tegangan pada beban menggunakan rumus perhitungan di bawah ini.

Tabel 6.1 Rumus Drop Tegangan :

Circuit	Voltage drop (ΔU)	
	In volts	In %
Single phase: phase/phase	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Single phase: phase/neutral	$\Delta U = 2 I_B (R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
Balanced 3-phase: 3 phases (with or without neutral)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B (R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Dimana :

- IB** : Arus beban (A)
- L** : Panjang kabel (kilometres)
- Lampu pijar** : $\cos \phi = 1$
- Motor** : Saat start-up : $\cos \phi = 0.35$
In normal service : $\cos \phi = 0.8$
- Un** : phase-to-phase voltage
- Vn** : phase-to-neutral voltage

$$R = \frac{22.5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for copper}$$

$$R = \frac{36 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for aluminium}$$

Dimana:

- R** : Resistansi sebuah konduktor (Ω/km)
- c.s.a** : Luas penampang kabel (mm^2)

Catatan :

R: resistansi dapat diabaikan jika nilai c.s.a. di atas dari 500 mm²

Rumus untuk menghitung besarnya reaktansi (X):

$$X = 0.08 \Omega/\text{km}$$

Catatan :

X: reaktansi dapat diabaikan untuk nilai konduktor c.s.a. kurang dari 50 mm².

X: reaktansi induktif sebuah konduktor (Ω / km)

Perhitungan drop tegangan juga dapat menggunakan rumus dengan melihat nilai pada tabel drop tegangan phase to phase (ΔU) dengan syarat sebagai berikut ini:

- Jenis sirkuit menggunakan : motor sirkuit dengan $\cos \phi$ mendekati 0.8, atau lighting dengan $\cos \phi$ mendekati 1
- Jenis kabel: satu-phase atau tiga-phase

Rumus untuk menghitung drop tegangan (ΔU) menggunakan tabel:

$$\Delta U = K \times IB \times L$$

Dengan:

K : nilai dari tabel

IB : arus beban penuh dalam ampere

L : panjang kabel dalam km

Rumus Drop tegangan dalam Persen dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Dengan:

U_n : Tegangan phase-to-phase

ΔU : Drop Tegangan (V)

$\Delta U\%$: Drop Tegangan dalam persen (%)

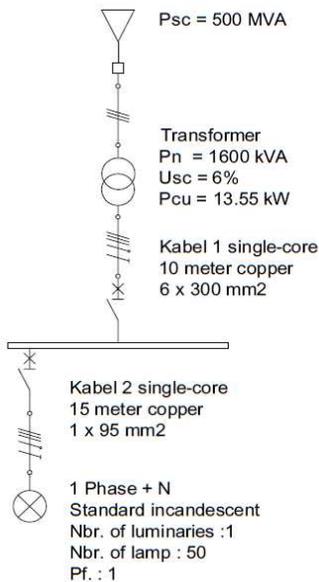
Tabel nilai K untuk drop tegangan dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Tabel tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai drop tegangan dengan memperhatikan jenis bahan penghantar (kabel) yang digunakan, luas penampang kabel yang digunakan, jenis beban (motor atau lampu), dan $\cos \phi$ yang digunakan. Sistem instalasi listrik juga perlu diperhatikan apakah sistem instalasi listrik menggunakan satu phase atau tiga phase.

Tabel 6.2 Nilai K untuk drop tegangan (ΔU)

c.s.a.in mm ²		Single-phase circuit			Balanced three-phase circuit		
		Motor power		Lighting	Motor power		Lighting
		Normal service	Start-up		Normal service	Start-up	
Cu	Al	$\cos \phi = 0.8$	$\cos \phi = 0.35$	$\cos \phi = 1$	$\cos \phi = 0.8$	$\cos \phi = 0.35$	$\cos \phi = 1$
1.5		24	10.6	30	20	9.4	25
2.5		14.4	6.4	18	12	5.7	15
4		9.1	4.1	11.2	8	3.6	9.5
6	10	6.1	2.9	7.5	5.3	2.5	6.2
10	16	3.7	1.7	4.5	3.2	1.5	3.6
16	25	2.36	1.15	2.8	2.05	1	2.4
25	35	1.5	0.75	1.8	1.3	0.65	1.5
35	50	1.15	0.6	1.29	1	0.52	1.1
50	70	0.86	0.47	0.95	0.75	0.41	0.77
70	120	0.64	0.37	0.64	0.56	0.32	0.55
95	150	0.48	0.30	0.47	0.42	0.26	0.4
120	185	0.39	0.26	0.37	0.34	0.23	0.31
150	240	0.33	0.24	0.30	0.29	0.21	0.27
185	300	0.29	0.22	0.24	0.25	0.19	0.2
240	400	0.24	0.2	0.19	0.21	0.17	0.16
300	500	0.21	0.19	0.15	0.18	0.16	0.13

Contoh perhitungan mencari drop tegangan:

Diketahui *single line diagram* pada jaringan distribusi dengan beban lampu pijar 100 W. Hitunglah drop tegangan pada beban lampu!



Gambar 6.1. Contoh Soal Drop Tegangan

Dibagi 6 karena jumlah kabel pada kabel 1 ada 6

Untuk mencari persen drop tegangan

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

$$\Delta U\% = \frac{100 \times 0.5}{400} = 0.125\%$$

ΔU untuk Kabel 2

$$IB = \frac{50 \times 100}{230} = 21.73 \text{ A}$$

$$\Delta U = 0.47 \times 21.73 \times 0.015 = 0.15 \text{ V}$$

ΔU total = ΔU kabel 1 + ΔU kabel 2

$$= 0.5 \text{ V} + 0.15 \text{ V}$$

$$= 0.65 \text{ V}$$

Perhitungan menggunakan Tabel nilai K untuk drop tegangan (ΔU)

ΔU untuk Kabel 1

$$IB = \frac{P_n \text{ (kVA)}}{\sqrt{3} \times V}$$

$$IB = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 2309 \text{ A}$$

Karena beban menggunakan $\cos \phi = 1$ maka menggunakan rumus

$$\Delta U = K \times IB \times L$$

$$\Delta U = 0.13 \times 2309 \times 0.01$$

$$= 3 \text{ V}$$

$$\Delta U = 3 \text{ V} / 6$$

$$= 0.5 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100 \times 0.65}{400} = 0.16\%$$

Perhitungan menggunakan rumus Ddrop tegangan :

- Carilah terlebih dahulu nilai resistansi (R) dan Reaktansi (X) pada kabel 1 :

$$R = \frac{22.5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for copper}$$

$$R = \frac{22.5 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{km}}}{6 \times (300 \text{ mm}^2)} = 0.0125 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X = 0.08 \Omega / \text{km}$$

$$X = 0.08 \Omega / \text{km}$$

- Selanjutnya carilah nilai IB

$$IB = \frac{Pn (\text{kVA})}{\sqrt{3} \times V}$$

$$IB = \frac{1600 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 400} = 2309 \text{ A}$$

- Untuk mencari nilai drop tegangan pada circuit balance 3 phase gunakan rumus di bawah ini:

$$\Delta U = \sqrt{3} IB (R \cos \phi + X \sin \phi) L$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 2309 \text{ A} \times (0.0125 \frac{\Omega}{\text{km}} \times \cos(1) + 0.08 \frac{\Omega}{\text{km}} \times \sin(1)) \times 0.01 \text{ km} = 0.5 \text{ V}$$

- Untuk mencari persen drop tegangan

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

$$\Delta U\% = \frac{100 \times 0.5}{400} = 0.125\%$$

- Carilah terlebih dahulu nilai resistansi (R) dan Reaktansi (X) pada kabel 1

$$R = \frac{22.5 \Omega \text{ mm}^2 / \text{km}}{S(\text{c.s.a. in mm}^2)} \text{ for copper}$$

$$R = \frac{22.5 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{km}}}{1 \times (95 \text{ mm}^2)} = 0.236 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$X = 0.08 \Omega / \text{km}$$

$$X = 0.08 \Omega / \text{km}$$

- Selanjutnya carilah nilai IB

$$I_B = \frac{50 \times 100}{230} = 21.73 \text{ A}$$

- Untuk mencari nilai drop tegangan pada circuit balance 1 phase gunakan rumus di bawah ini:

$$\Delta U = 2 I_B (R \cos \varphi + X \sin \varphi) L$$

$$\Delta U = 2 \times 21.73 \text{ A} \times \left(0.236 \frac{\Omega}{\text{km}} \times \cos(1) + 0.08 \frac{\Omega}{\text{km}} \times \sin(1) \right) \times 0.015 \text{ km} = 0.154 \text{ V}$$

- Carilah ΔU total

$$\Delta U \text{ total} = \Delta U \text{ kabel 1} + \Delta U \text{ kabel 2}$$

$$= 0.5 \text{ V} \quad + 0.154 \text{ V}$$

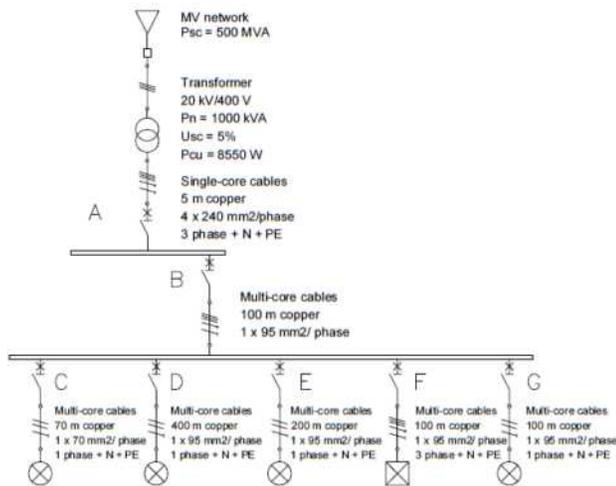
$$= 0.654 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100 \times 0.654}{400} = 0.163\%$$

Analisis gangguan drop tegangan pada jaringan distribusi tenaga listrik tidak memiliki perbedaan yang banyak dengan analisis pada gangguan hubung singkat dalam hal langkah-langkah untuk menjalankan simulasi menggunakan *software* Ecodial. Perbedaan dengan analisis pada gangguan hubung singkat hanya pada hasil analisis saja.

Aplikasi Ecodial pada simulasi ini dicontohkan menggunakan sistem kelistrikan dengan sumber energi listrik berasal dari satu Grid. Grid sendiri diibaratkan sebagai suatu jaringan besar yang di dalamnya terdapat sistem pembangkitan dan transmisi dimana daya yang dibangkitkan tidak terbatas, sehingga kita dapat mendesain sistem kelistrikan sesuai yang kita inginkan tanpa khawatir akan kemampuan daya yang mampu untuk disuplai.

Sistem kelistrikan yang akan dibuat menggunakan dua bus, beban listrik terdiri dari empat buah lampu dan satu buah pasive load. Sistem juga dipasang beberapa proteksi, yaitu menggunakan *circuit breaker*. Pengaman pada jaringan distribusi cukup menggunakan *circuit breaker* saja karena pada jaringan distribusi tidak diperlukannya relai-relai. Berikut ini adalah gambar diagram satu garis jaringan kelistrikan yang akan dibuat.

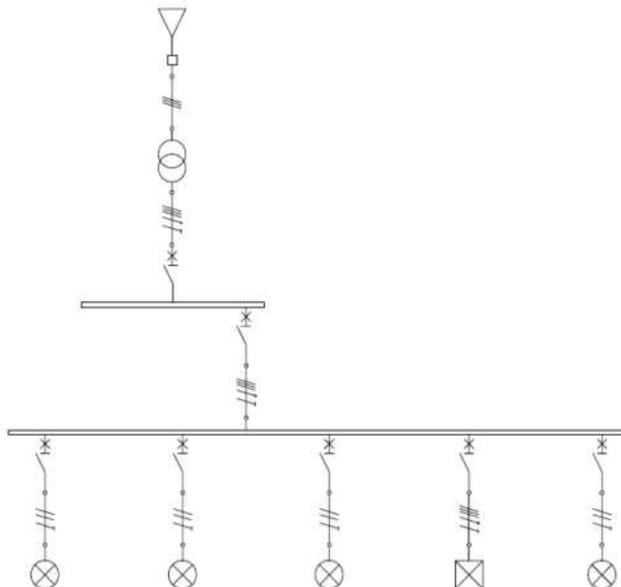


Gambar 6.2. Gambar Satu Garis Jaringan Listrik

Dapat dilihat pada Gambar 6.4 beban yang digunakan berjumlah 4 lampu pijar dan satu buah beban pasive. Beban pada titik C, D, E, G berupa lampu pijar dengan daya 100 Watt yang berjumlah 100 buah pada masing-masing titik. Sumber tegangan beban menggunakan 1 phase. Beban pada titik F berupa beban pasif dengan daya 90 kW dan $\cos \phi = 1$

Sebelum memulai simulasi langkah pertama yang kita lakukan adalah menggambar single line diagram seperti gambar 69. Setelah selesai menggambar langkah selanjutnya adalah menyesuaikan parameter-parameter yang ada pada rangkaian gambar satu garis. Berikut ini langkah-langkah dalam pembuatan single line diagram dan penyetingan parameter yang ada pada jaringan kelistrikan yang dibuat.

Buka *software* Ecodial pada laptop dan **klik** *Create a New Project* untuk membuka lembar kerja yang baru. Gambar *single line diagram* seperti pada soal. Berikut contoh gambar SLD yang sudah dibuat pada *software* Ecodial



Gambar 6.3. Gambar Single Line Diagram

Setelah selesai menggambar *single line diagram* setting data pada *software* Ecodial sesuai dengan data yang diminta pada gambar 6.5. Berikut contoh setting data pada *Transformer*.

MV/LV transformer TA 22

UrT2 (V) 400

Type of system earthing TN-S

Solution

SrT (kVA)	1000
UkrT (%)	5
PkrT (kW)	8.55
UrT20 (V)	420
UiT0 (kV)	24
Ir (A)	1443

Transformer / Utility Curve

[LV Curve: Add a curve](#)

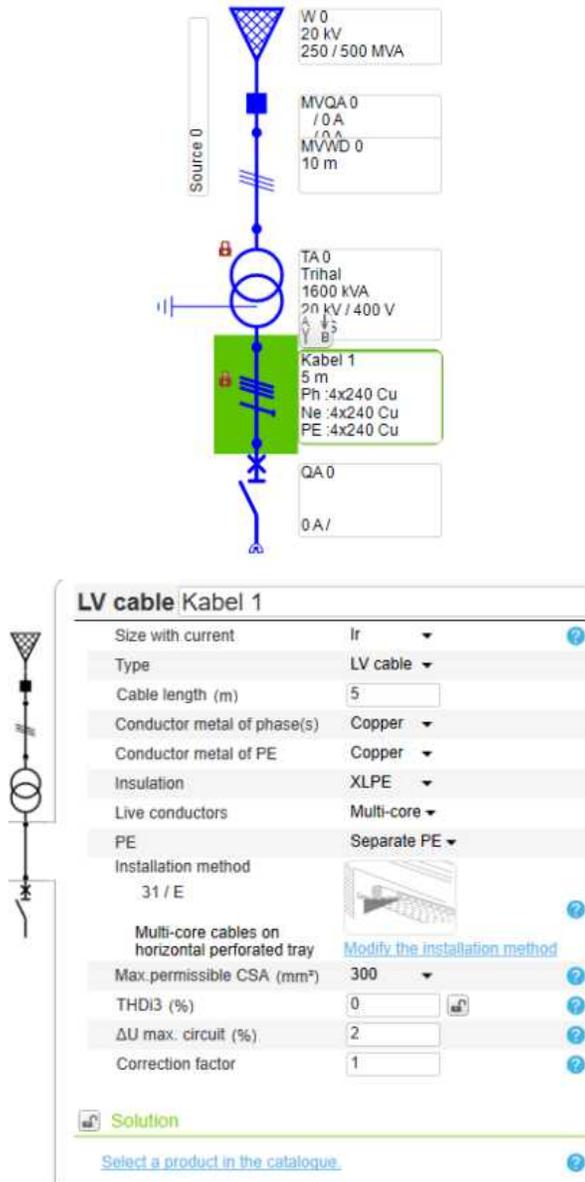
[MV Curve: Add a curve](#)

Gambar 6.4. Setting Transformator

Berikut ini penjelasan mengenai simbol pada setting transformator dan penjelasan dari mana data tersebut diperoleh.

- UrT2/ Un** : Tegangan sisi sekunder transformator saat berbeban
- SrT (kVA)/ Pn** : kapasitas dari trafo (kVA) kita setting 1.000 kVA
- UkrT/ Usc** : Toleransi dari tegangan impedans. Berdasarkan data pada SPLN Usc dari kapasitas dari transformator 1.000 kVA adalah 5%.
- PkrT/ Pcu** : Rugi-rugi daya pada transformator. Nilai rugi-rugi daya pada transformator dapat kita lihat pada tabel SPLN. Jika menggunakan kapasitas transformator 1.000 kVA maka rugi-rugi dayanya adalah 8.550 watt.
- UkrT20/ U20** : Tegangan pada sisi sekunder transformator tanpa beban. Faktor Tegangan (1.05 untuk tegangan kurang dari 1kV, 1.1 untuk tegangan lebih dari 1kV) berdasarkan pada Tabel IEC
- UiT0** : Rated voltage adalah tegangan maksimum yang boleh gunakan

Setting kabel pada titik A dengan cara **klik** pada Kabel di titik A satu kali selanjutnya ganti nama dengan Kabel 1 kemudian isikan data sesuai pada *Tab properties* seperti gambar di bawah.



The image shows a software interface for setting up a cable in a power system. On the left, a single-line diagram illustrates the power flow from a source through a transformer and a cable to a busbar. The components are labeled as follows:

- Source 0**: W 0, 20 kV, 250 / 500 MVA
- MVQA 0**: / 0 A, / 0 A, MVWD 0, 10 m
- TA 0**: Trihal, 1600 kVA, 20 kV / 400 V
- Kabel 1**: 5 m, Ph :4x240 Cu, Ne :4x240 Cu, PE :4x240 Cu
- QA 0**: 0 A/

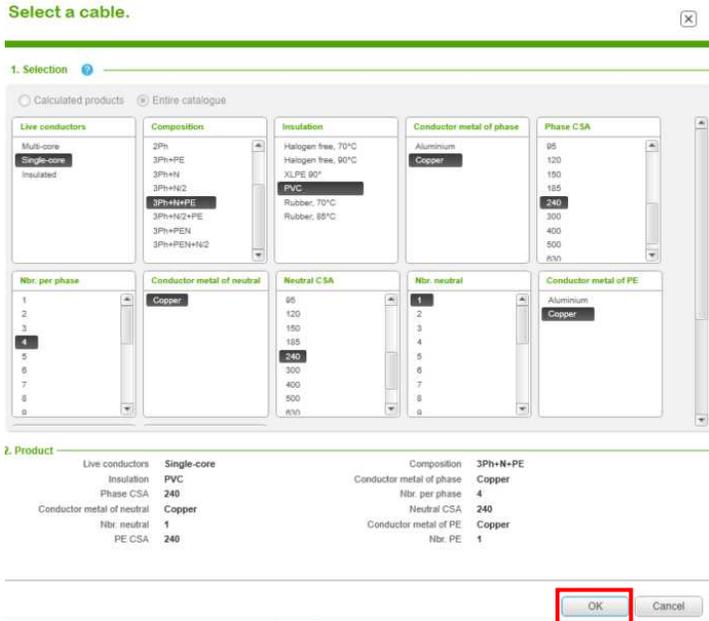
The configuration panel for **LV cable Kabel 1** is shown on the right, with the following settings:

Property	Value
Size with current	I _r
Type	LV cable
Cable length (m)	5
Conductor metal of phase(s)	Copper
Conductor metal of PE	Copper
Insulation	XLPE
Live conductors	Multi-core
PE	Separate PE
Installation method	31 / E
Multi-core cables on horizontal perforated tray	Modify the installation method
Max. permissible CSA (mm ²)	300
THDI3 (%)	0
ΔU max. circuit (%)	2
Correction factor	1

Below the configuration panel, there is a **Solution** section with a link: [Select a product in the catalogue.](#)

Gambar 6.5. Setting cable

Cabel length (m) digunakan untuk setting panjang kabel dengan satuan meter, kemudian untuk setting jumlah kabel dan luas penampang pada kabel, **klik** pada *a product in the catalogue* maka akan muncul Gambar 6.8 seperti di bawah ini.



Gambar 6.6. Setting Cable in select a Cable

Diketahui pada soal untuk setting kabel pada titik A adalah kabel dengan:

- live conductors : single-core
- composition : 3 fase+ N+ PE
- insulation : PVC
- conductor metal of phase : copper
- Nbr. Per Phase/Neutral/PE : 4
- Phase csa (luas penampang) : 240 mm²
- Neutral csa (luas penampang) : 240 mm²
- PE csa (luas penampang) : 240 mm²

Setelah selesai menyeting kabel pada rangkaian diatas maka settinglah beban pada rangkaian. Contoh setting beban lampu pada soal adalah sebagai berikut ini. Setting beban pada titik C:

Lighting load EA 62	
Type of lamp	Standard incandescent lamp
Lamp unit P (W)	100
Ballast unit P (W)	0
Nbr. of luminaires	1
Nbr. of lamps per luminaire	46
P.F.	1
Ia (A)	19.9
Ku	1
Nbr. of circuits	1
Number and type of conductors	1Ph+N
Connection	L1-N
ΔU tolerance (%)	4
Final load	Yes
Non-linear load	No
THDi3 (%)	0
Sr (kVA)	4.6
Total rated power (kW)	4.6
Ir (A)	19.9

Jenis Lampu

Daya Lampu

Jumlah Lampu

Sumber Tegangan

Solution

Gambar 6.7. Setting Beban Lampu

Untuk setting beban lampu pada titik D, E, G sesuai sama kecuali pada **Connection**.

Beban lampu pada titik C connection	:L1 + N
Beban lampu pada titik D connection	:L2 + N
Beban lampu pada titik E connection	:L3 + N
Beban lampu pada titik G connection	:L1 + N

Setelah selesai melakukan setting beban lampu, maka lakukan setting beban *passive load*. Berikut cara penyetingan untuk beban *passive load*.

Load AA 60	
Sr (kVA)	90
Pr (kW)	90
Ir (A)	130
P.F.	1
Ku	1
Nbr. of circuits	1
Number and type of conductors	3Ph+N
ΔU tolerance (%)	4
Final load	Yes
Motors	No
Non-linear load	No
THDi3 (%)	0

Gambar 6.8. Setting Pasive Load

Jika sudah selesai melakukan setting pada semua data di *software* Ecodial sesuai dengan yang diminta oleh soal maka selanjutnya simulasikan rangkaian pada *software* ecodial dengan menekan ***calculate project***. Perhatikan *StatusBar*, jika status bar memberikan status alarm maka periksa ulang data yang inputkan.



Gambar 6.9 Status Bar

Untuk melihat detail peringatan maka **klik** seperti pada gambar berikut



Gambar 6.10 Alarm Message

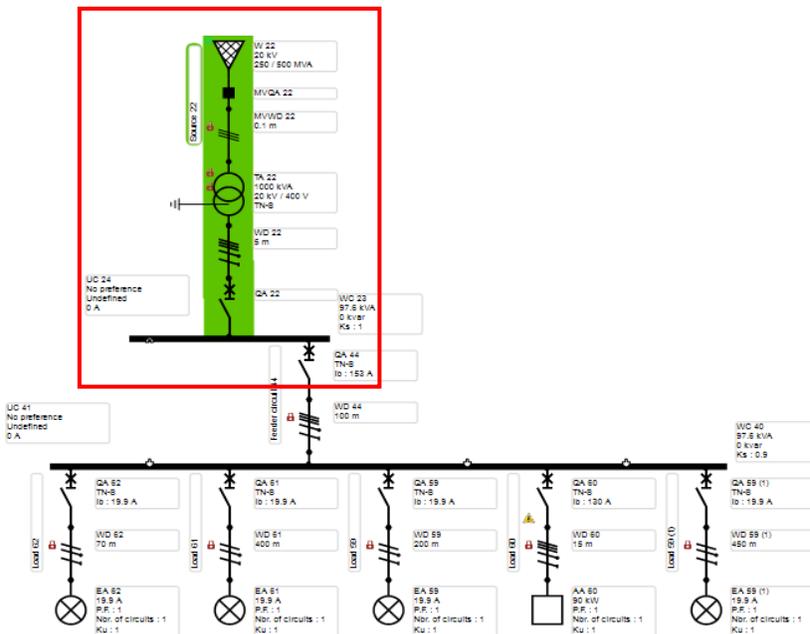
Maka akan muncul tampilan seperti berikut. Bacalah dengan saksama pesan pada peringatan dan temukan cara mengatasi permasalahan yang terjadi pada simulasi

Criticality	Type	Circuit	Component	Message
Warning	Setting	UC 2	WC 1	The power factor (0.88) is less than the target PF of the busbar (0.95). You must add a capacitor bank when the installation is fed by a transformer or by a LV source.
Warning	Setting	MAN POWER	T1	The transformer is undersized. The selected transformer rating (250 kVA) is lower than the required rating (290 kVA).
Warning	Disconnection	MAN POWER	CB1	There is a disconnection problem between protective devices CB1 and MVQA 6 in operating mode Normal.
Information	Setting	Installation	N/A	Installation sizing finished in 11.8 s.

Gambar 6.11. Alarm Message

A. Simulasi Drop Tegangan

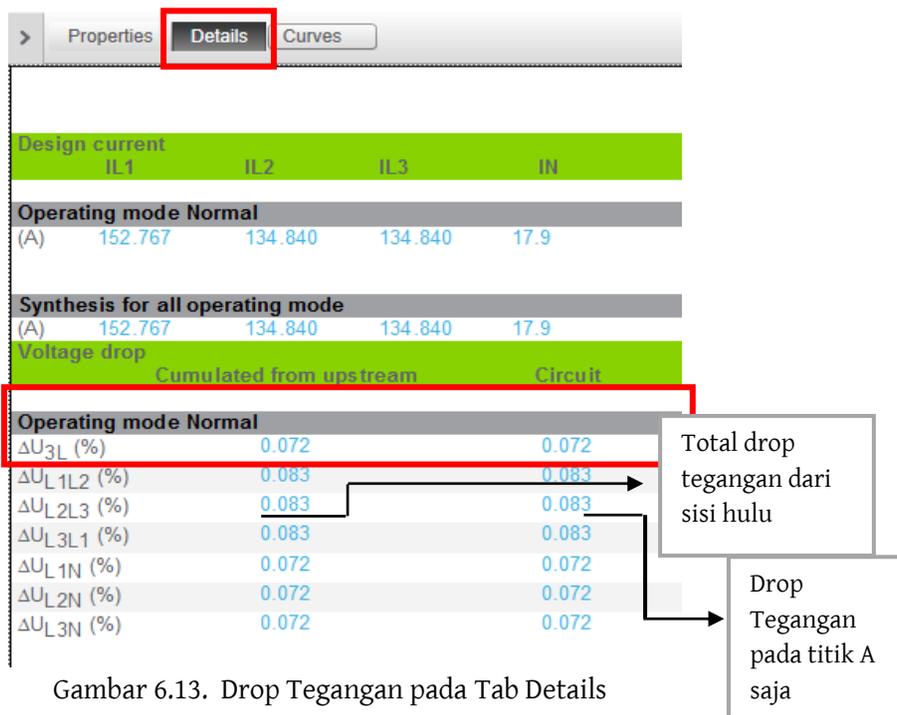
Hasil dari simulasi **drop tegangan** dapat dilihat dengan **cara** klik pada tab detail. Contoh drop tegangan di titik A pada *software* Ecodial dapat kita lihat pada tab details setelah kita simulasikan dengan menekan tombol *calculate*. Klik terlebih dahulu SLD pada titik A.



Gambar 6.12. SLD pada Titik A untuk Simulasi Drop Tegangan

Selanjutnya klik tab details dan cari tulisan pada drop tegangan seperti gambar di bawah ini. Titik A menggunakan sumber 3 Phase maka

yang kita baca adalah ΔU_{3L} (%).



Gambar 6.13. Drop Tegangan pada Tab Details

Keterangan pada hasil simulasi drop tegangan dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Drop tegangan pada *software* Ecodial dapat menghitung drop tegangan satu fasa, drop tegangan dua phase, drop tegangan tiga phase, dan drop tegangan pentanahan.

Tabel 6.3 Simbol Drop Tegangan

Simbol	Keterangan
ΔU_{3L} (%)	Drop tegangan untuk sumber 3 phase
ΔU_{L1L2} (%)	Drop tegangan pada L1 dan L2
ΔU_{L2L3} (%)	Drop tegangan pada L2 dan L3
ΔU_{L3L1} (%)	Drop tegangan pada L3 dan L1
ΔU_{L1N} (%)	Drop tegangan untuk sumber 1 phase pada L1
ΔU_{L2N} (%)	Drop tegangan untuk sumber 1 phase pada L2
ΔU_{L3N} (%)	Drop tegangan untuk sumber 1 phase pada L3

Hasil simulasi dari *software* Ecodial dapat kita bandingkan dengan

perhitungan secara manual dengan rumus yang telah dijabarkan di atas untuk mengetahui ketepatan dari perhitungan dari *software* Ecodial. Tabel berikut ini dapat digunakan untuk membandingkan hasil dari perhitungan simulasi *software* Ecodial dengan perhitungan secara manual dengan rumus-rumus yang ada. Amati nilai drop tegangan pada setiap titik kemudian tuliskan hasil simulasi menggunakan *software* Ecodial pada Tabel di bawah ini, untuk mengisi tabel di bawah kerjakan soal pada poin tugas.

Tabel 6.4 Perbandingan Jatuh Tegangan Terhadap Perhitungan Manual

TITIK	ΔV (%)		Selisih hasil perhitungan & simulasi
	Ecodial	Perhitungan	
A			
B			
C			
D			
E			
F			
G			

A. Tugas

1. Hitunglah secara teori nilai arus hubung singkat pada titik A, B, C, D, E, F, G tuliskan hasilnya pada Tabel.
2. Carilah selisih hasil dari simulasi menggunakan *software* Ecodial dan hasil perhitungan teori untuk **gangguan arus hubung singkat** tuliskan hasilnya pada Tabel.
3. Hitunglah secara teori nilai drop tegangan pada titik A, B, C, D, E, F, G tuliskan hasilnya pada Tabel.
4. Carilah selisih hasil dari simulasi menggunakan *software* Ecodial dan hasil perhitungannya teori untuk **drop tegangan** tuliskan hasilnya pada tabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslimeri, dkk. 2008. Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2 untuk SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.
- Barrie Rigby. 2005. *Design of Electrical Services for Buildings, 4th Edition*. London.
- Brown, Richard E. 2009. *Electric Power Distribution Reliability Second Edition*. United States of America: CRC Press Taylor & Francis Group.
- CELENEC 2011. *Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization*
- IEEE Std. 1366-2000, *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*.
- John Hauck. 2014. *Electrical Design of Commercial and Industrial Buildings*.
- Joko pramono, dkk. 2010. Makalah Teknik Tenaga Listrik “*Transmission Of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik)*”. Jakarta: FT-UI Departemen Teknik Elektro.
- Low Voltage Power Cable*. Jakarta: PT. GT Kabelindo Murni Tbk..
- Mats Lindstedt .2011. *Vaasa: Dimensioning of electrical installations*
- Michael Neidle. 1982. *Teknologi Instalasi Listrik*. Jakarta
- MV – LV Technical Guide. 2009. *France: Schneider Electric Industries*
- P.Van Harten , Ir.E.Setiawan. 1981. *Instalasi Listrik Arus Kuat 1 . Indonesia .*
- Pedoman Pemeliharaan Trafo Tenaga. 2014. Jakarta PT. PLN

- Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- PT PLN (Persero).1985. SPLN 59: **Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV**. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero). 2009. Analisis Proteksi Sistem Distribusi. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan: Jakarta.
- Suhadi, dkk. 2008.**Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1**.Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sunarno.2005 Mekanikal Elektrikal. Yogyakarta
- Sunarno. 2006. Mekanikal Elektrikal Lanjutan. Yogyakarta
- Supriyadi, Edy. 1999. Sistem Pengaman Tenaga Listrik. Yogyakarta: Adicita Karya Nusa
- Zuhal. 1993. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. *The Handbook Of Merlin Gerin*. Jakarta: Schneider Electric 2002

PROTEKSI TENAGA LISTRIK

Konsep dan Aplikasinya

Sistem transmisi tenaga listrik merupakan penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber pembangkit menuju sistem distribusi. Desain saluran transmisi tergantung pada jumlah daya yang harus disalurkan, jarak, jalur yang harus dilalui, biaya yang tersedia, dan pertumbuhan beban di masa yang akan datang. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain saluran transmisi, antara lain: pemilihan tegangan, pemilihan jenis kawat, pemilihan sistem pelindung terhadap gangguan, kontinuitas penyaluran tenaga listrik, dan pembebasan tanah yang dilalui.

Bahan ajar ini disusun dalam bentuk buku pembelajaran yang berisi uraian materi untuk mendukung penguasaan kompetensi tertentu yang ditulis secara sekuensial, sistematis dan sesuai dengan prinsip pembelajaran dengan pendekatan kompetensi. Untuk itu "Buku Proteksi Tenaga Listrik" ini sangat sesuai dan mudah dipelajari secara mandiri.



UNY Press

Jl. Gejayan, Gg. Alamanda, Komplek Fakultas Teknik UNY
Kampus UNY Karangmalang Yogyakarta 55281

Telp: 0274 - 589346

E-Mail: unypress.yogyakarta@gmail.com

Anggota Ikatan Penerbit Indonesia (IKAPI)

Anggota Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia (APPTI)