

**STRATEGI OPERASI SISTEM PADA PEMELIHARAAN
PENYULANG CAMBA PLN UP3 MAKASSAR UTARA**



SKRIPSI

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh

Muhammad Afghhan Nurhaq

D041 17 1502

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**STRATEGI OPERASI SISTEM PADA PEMELIHARAAN PENYULANG CAMBA
PLN UP3 MAKASSAR UTARA**

Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD AFGHAN NURHAQ

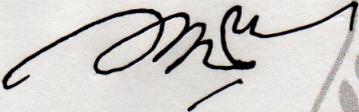
D041 17 1502

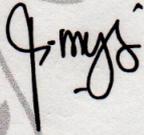
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada Tanggal 16 Maret 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama

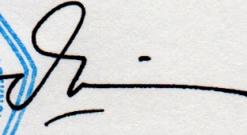
Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT
NIP. 19671231 199202 1 001


Dr. Fitriyanti Mayasari, ST, MT
NIP. 19830714 200604 2 001

Ketua Program Studi




Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Afghan Nurhaq
NIM : D041171502
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**(Strategi Operasi Sistem Pada Pemeliharaan Penyulang Camba
PLN UP3 Makassar Utara)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 April 2022

Yang Menyatakan



(Muhammad Afghan Nurhaq)

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah masyarakat tiap harinya berbanding lurus dengan pertumbuhan daya konsumsi energi listrik yang digunakan untuk menunjang aktivitas masyarakat sehari-hari. Untuk menunjang tersedianya kebutuhan energi listrik tersebut, maka sistem distribusi sebagai bagian dari sistem tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik hingga ke konsumen. Energi listrik yang disalurkan ke pelanggan seharusnya senantiasa bersifat bermutu, aman, dan dapat diandalkan setiap saat. Berarti dalam penyaluran energi listrik seharusnya dilakukan secara rasional dan bernilai ekonomis. Sistem tenaga listrik yang sifatnya dinamis perlu adanya strategi operasi, hal ini dimaksud agar operator dapat memiliki gambaran terkait kondisi operasi sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi operasi sistem pada pemeliharaan Penyulang Camba yang paling optimal sesuai dengan tujuan operasi sistem. Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* Etap 12.6.0 didapatkan hasil bahwa untuk simulasi manuver beban yang paling optimal ialah beban Penyulang Camba dimanuver ke Penyulang Teh Gelas dan dilakukan pemecahan beban Penyulang Camba sebagai mitigasi dari dampak manuver yang dilakukan.

Kata Kunci : Strategi Operasi Sistem, Tujuan Sistem Operasi, Manuver Beban Penyulang.

ABSTRACT

The growth of the number of people each day is directly proportional to the growth of the power consumption of electrical energy used to support people's daily activities. To support the availability of electrical energy needs, the distribution system as part of the electric power system has a very important role in distributing electrical energy to consumers. Electrical energy supplied to customers should be of high quality, safe, and reliable at all times. This means that the distribution of electrical energy should be done rationally and with economic value. The dynamic nature of the electric power system requires an operating strategy, with the aim that the operator can have an overview of the operating conditions of the system. This study aims to analyze the system's operating strategy on the most optimal maintenance of the Camba Feeder in accordance with the objectives of the system's operation. From the simulation and analysis performed using the software Etap 12.6.0, the results show that the most optimal load maneuver simulation is the Camba Feeder load being maneuvered to the Tea Glass Feeder, and solving the Camba Feeder load as a mitigation of the resulting impact. by the maneuver.

Keyword: System Operation Strategy, Purpose of the Operating System, Feeder Load Manuver.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian tugas akhir ini banyak kendala yang dihadapi, baik itu kendala teknis maupun nonteknis. Namun, berkat petunjuk dan pertolongan Allah Subhanahu wata'ala melalui bantuan dari berbagai pihak, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
2. **Prof. Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT.** selaku Pembimbing I dan **Dr. Fitriyamnti Mayasari, ST., MT.** selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
3. **Dr. Ikhlas Kitta, ST., MT.** dan **Dr. Ir. Hj. Zaenab Muslimin, MT.** selaku dosen penguji yang selalu memberikan saran, koreksi, dan arahan demi sempurnanya tugas akhir ini.

4. **Dr.Eng. Ir. Dewiani, M.T** dan **Dr. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.** selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
5. **Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, M.A** selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh dosen dan staf pengajar yang telah memberikan kami ilmu, bantuan, dan kemudahan selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Elektro.
8. Seluruh pihak PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan UP3 Makassar Utara yang telah membantu dalam memperoleh data-data yang diperlukan.
9. Kepada Rekan-Rekan “**EQUAL17ER 2017**” Departemen Teknik Elektro angkatan 2017 yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini berjuang bersama peneliti untuk menuntut ilmu di kampus merah tercinta.
10. Kepada teman seperjuangan di Laboratorium Distribusi Sistem Tenaga dan Instalasi Listrik, Mulya, Fayed, Wawan dan Kanda Anugrah yang selalu membantu dan menyemangati dalam menyelesaikan tugas akhir ini.ais
11. Seluruh pihak yang telah memberikan dukungan yang tidak sempat penulis sebutkan.

Demikian ungkapan terima kasih kepada seluruh pihak, penulis ucapkan *jazaakumullahu khairan*. Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan tugas akhir ini dikarenakan keterbatasan ilmu pengetahuan, wawasan, dan pengalaman. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, maupun pembacanya.

Makassar, April 2022

Muhammad Afghan Nurhaq

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian.....	3

1.7	Sistematika Penulisan.....	4
BAB II		6
TINJAUAN PUSTAKA		6
2.1	Sistem Tenaga Listrik	6
2.2	Sistem Distribusi.....	7
2.3	Konfigurasi Jaringan Distribusi	8
2.3.1	Jaringan Radial	9
2.3.2	Jaringan Hantaran Penghubung (<i>Tie Line</i>).....	9
2.3.4	Jaringan Spindel.....	11
2.3.5	Jaringan Sistem Gugus atau Kluster	12
2.4	Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah	13
2.4.1	Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)	13
2.4.2	Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).....	14
2.4.3	Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM).....	16
2.5	Manuver Pelimpahan Beban Jaringan Distribusi 20 kV	16
2.5.1	Tujuan Pelaksanaan Pelimpahan Beban	19
2.5.2	Syarat Pelimpahan Beban Penyulang Jaringan Distribusi.....	20
2.5.3	Jenis-jenis Menuver Beban Antar Penyulang	20
2.6	Peralatan Yang Digunakan Dalam Manuver Jaringan Distribusi.....	21
2.6.1	Sakelar Pemisah	21
2.6.2	<i>Recloser</i>	22
2.6.3	<i>Load Break Switch (LBS)</i>	23

2.7	Kontinuitas Pelayanan Sistem Distribusi	24
2.8	Strategi Operasi.....	25
BAB III.....		27
METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	27
3.3	Prosedur Penelitian	27
3.4	Langkah-langkah Penelitian	29
3.5.	Rangkaian Simulasi.....	32
BAB IV		37
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Hasil Simulasi	37
4.2	Pengoperasian Sistem kondisi Existing Penyulang Camba	38
4.3	Alternatif Pengoperasian Penyulang Camba dimanuver ke Penyulang Bosowa	47
4.4	Alternatif Pengoperasian Penyulang Camba dimanuver ke Penyulang Teh Gelas	51
4.5	Alternatif Operasi pecah beban Penyulang Camba.....	57
4.6	Menentukan Strategi Operasi Sistem.....	63
BAB V.....		68

KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
5.1 Kesimpulan.....	68
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik [2]	6
Gambar 2. 2 Skema Jaringan Radial [4].....	9
Gambar 2. 3 Jaringan Hantaran Penghubung [4].....	10
Gambar 2. 4 Jaringan <i>Loop</i> [4]	11
Gambar 2. 5 Jaringan Spindel [4]	12
Gambar 2. 6 Jaringan Sistem Gugus atau Kluster [4].....	12
Gambar 2. 7 Saklar Pemisah [7]	22
Gambar 2. 8 <i>Recloser</i> [7].....	23
Gambar 2. 9 <i>Load Break Switch</i> [7].....	23
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	30
Gambar 3. 2 Single Line Diagram	32
Gambar 3. 3 Beban Penyulang Camba.....	33
Gambar 3. 4 Beban Penyulang Bosowa	34
Gambar 3. 5 Beban Penyulang Teh Gelas.....	35
Gambar 4. 1 Simulasi Existing Penyulang Camba	38
Gambar 4. 2 Simulasi Penyulang Camba dimanuver ke Penyulang Bosowa	47
Gambar 4. 3 Simulasi Penyulang Camba dimanuver ke Penyulang Teh Gelas ..	51
Gambar 4. 4 Simulasi Pecah Beban Penyulang Camba	57
Gambar 4. 5 Grafik Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba dan Penyulang Teh Gelas (Manuver Teh Gelas).....	64

Gambar 4. 6 Grafik Arus pada Penghantar Penyulang Camba dan Penyulang Teh Gelas (Manuver Teh Gelas)	64
Gambar 4. 7 Grafik Rugi Daya pada Penghantar Penyulang Camba dan Penyulang Teh Gelas (Manuver Teh Gelas)	65
Gambar 4. 8 Grafik Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba (Pecah Beban Camba).....	66
Gambar 4. 9 Grafik Arus pada Penghantar Penyulang Camba (Pecah Beban Camba).....	66
Gambar 4. 10 Grafik Rugi Daya pada Penghantar Penyulang Camba (Pecah Beban Camba).....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba (Existing).....	38
Tabel 4. 2 Arus pada Penghantar Penyulang Camba (Existing).....	42
Tabel 4. 3 Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba dan Bosowa (Manuver Bosowa).....	48
Tabel 4. 4 Arus pada Penghantar Penyulang Camba dan Bosowa (Manuver Bosowa)	49
Tabel 4. 5 Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba dan Penyulang Teh Gelas (Manuver Teh Gelas)	52
Tabel 4. 6 Arus pada Penghantar Penyulang Camba dan Teh Gelas (Manuver Teh Gelas).....	54
Tabel 4. 7 Tegangan Terminal pada Gardu Distribusi Penyulang Camba (Pecah Beban).....	58
Tabel 4. 8 Arus pada Penghantar Penyulang Camba (Pecah Beban).....	61

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah masyarakat tiap harinya berbanding lurus dengan pertumbuhan daya konsumsi energi listrik yang digunakan untuk menunjang aktivitas masyarakat sehari-hari. Untuk menunjang tersedianya kebutuhan energi listrik tersebut, maka sistem distribusi sebagai bagian dari sistem tenaga listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam menyalurkan energi listrik hingga ke konsumen. Dalam pendistribusian energi listrik terdapat beberapa faktor yang harus ditingkatkan agar kualitas energi listrik yang disalurkan dapat dimanfaatkan secara optimal.

Jaringan distribusi yang merupakan bagian terdekat dengan pelanggan dari sistem penyaluran energi listrik. Ditinjau dari bentuk fisiknya, jaringan distribusi terdiri dari jaringan tegangan menengah (JTM) dan jaringan tegangan rendah (JTR). Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik timbulnya suatu gangguan merupakan sesuatu yang pasti datangnya. Adapun gangguan yang biasanya terjadi dapat bersifat sementara ataupun bersifat permanen. Gangguan yang terjadi pada penyulang sangat memengaruhi dari proses penyaluran energi listrik dimana energi listrik yang disalurkan tidak secara optimal. Dampaknya dapat dirasakan oleh pihak PT. PLN dan maupun pihak pelanggan itu sendiri.

Energi listrik yang disalurkan ke pelanggan seharusnya senantiasa bersifat bermutu, aman, dan dapat diandalkan setiap saat. Berarti dalam penyaluran energi listrik seharusnya dilakukan secara rasional dan bernilai ekonomis. Sistem tenaga

listrik yang sifatnya dinamis perlu adanya strategi operasi, hal ini dimaksud agar operator dapat memiliki gambaran terkait kondisi operasi sistem. Dengan adanya strategi operasi, maka permasalahan yang kemungkinan akan timbul dapat diantisipasi lebih awal. Oleh karena itu, perlu dilakukan strategi operasi dalam melakukan pengoperasian penyulang. Agar pengoperasian yang dilakukan merupakan langkah yang paling optimal.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana strategi operasi sistem ketika terjadi pemeliharaan preventif penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara.
2. Bagaimana strategi operasi sistem ketika terjadi pemeliharaan korektif penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara.
3. Bagaimana dampak dan mitigasi dari strategi operasi sistem pemeliharaan penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara dari yang telah direncanakan.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Menentukan strategi operasi sistem ketika terjadi pemeliharaan preventif penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara.
2. Menentukan strategi operasi sistem ketika terjadi pemeliharaan korektif penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara.

3. Menganalisis dampak dan mitigasi dari strategi operasi sistem pemeliharaan penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara dari yang telah direncanakan.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, antara lain:

1. Objek penelitian adalah strategi operasi sistem penyulang Camba ketika terjadi pemeliharaan preventif maupun pemeliharaan korektif.
2. Parameter yang diperhitungkan adalah keandalan, mutu, dan keamanan penyulang ketika terjadi manuver jaringan berdasarkan strategi operasi sistem yang dibuat.
3. Data yang digunakan ialah data beban dari penyulang dan *supply* dari GI ke penyulang.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat menjadi saran masukan bagi *stakeholder* terkait. Mengenai strategi operasi sistem penyulang terhadap keandalan sistem.
2. Dapat menjadi referensi untuk penelitian yang terkait.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu:

1. Studi Literatur

Melakukan kajian yang bersumberkan referensi-referensi yang tersedia, baik berupa buku ataupun referensi lain yang terkait dengan penelitian.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Mengumpulkan data data yang terkait dengan objek penelitian dan melakukan pengolahan data terkait strategi operasi penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara menggunakan *software* Etap 12.6.0.

3. Analisis Hasil Pengolahan Data

Dilakukan untuk menentukan bagaimana strategi operasi sistem penyulang Camba PLN UP3 Makassar Utara.

4. Penarikan Kesimpulan

Membuat kesimpulan berdasarkan hasil analisis pengolahan data dengan melihat kesesuaian dengan permasalahan yang diteliti.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan teori-teori pendukung materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil dan pembahasan hasil simulasi yang dilakukan untuk menentukan strategi operasi sistem sesuai dengan tujuan operasi sistem.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

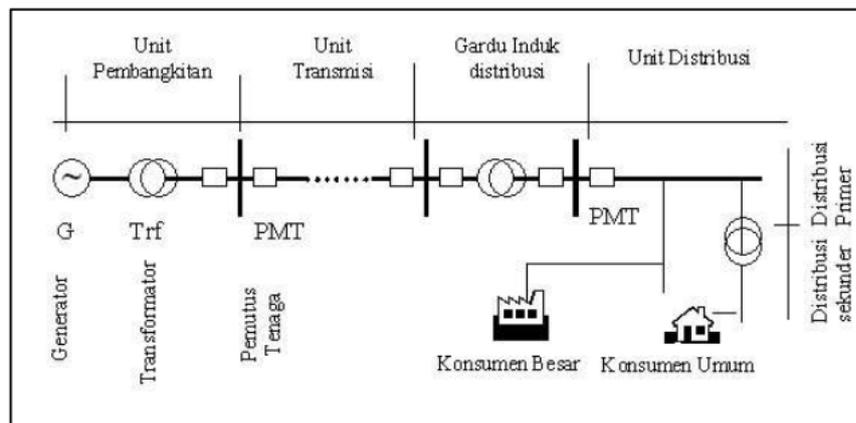
Berisi tentang kesimpulan dari pembahasan permasalahan dan saran-saran yang dapat menjadi masukan untuk penelitian lanjutan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang mulai dari pembangkitan tenaga listrik ke konsumen (beban), merupakan hal penting untuk pelajari. Penyaluran tenaga listrik ini melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik sebagai penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan SUTT/SUTET yang menuju ke gardu induk dan gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen. Dengan demikian sistem distribusi tenaga listrik berfungsi membagikan tenaga listrik kepada pihak pemakai melalui jaringan tegangan rendah (SUTR) [1].



Gambar 2. 1 Diagram Garis Sistem Tenaga Listrik [2]

Sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan atas 3 bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Ketiga bagian utama tersebut menjadi bagian penting dan

saling mendukung untuk mencapai tujuan utama sistem yaitu penyaluran energi listrik kepada konsumen [2].

2.2 Sistem Distribusi

Fungsi dan sistem distribusi adalah mendistribusikan atau menyalurkan energi pusat sumber gardu induk ke pusat-pusat beban (Gardu Distribusi) dan konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang dimulai dari Pemutus (PMT) *incoming* di kduk sampai dengan Alat Penghitung dan Pembatas (APP) di instalasi konsumen yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sebagai pusat pusat beban ke pelanggan secara langsung atau melalui gardu-gardu distribusi dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku. Dengan demikian sistem distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dimana sistem adalah perangkat unsur-unsur yang saling ketergantungan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan menampilkan fungsi yang ditetapkan. Dilihat dari tegangannya sistem distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu: [2]

1. Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer atau sering disebut jaringan distribusi tegangan menengah terletak di antara gardu induk dengan gardu pembagi atau gardu distribusi yang memiliki tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV [3]. Pada sistem distribusi primer saluran yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen disebut sebagai

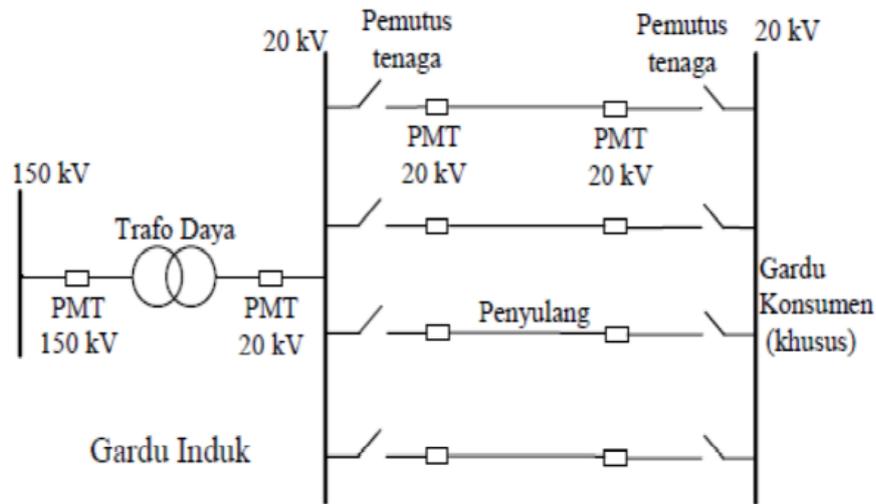
penyulang (*feeder*). Umumnya setiap penyulang diberi nama sesuai dengan daerah beban yang dilayani oleh penyulang tersebut. Tujuannya adalah untuk memudahkan dalam mengingat dan menandai jalur-jalur beban yang dilayani oleh penyulang tersebut.

2. Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder atau sering disebut jaringan distribusi tegangan rendah, merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu – gardu pembagi atau gardu distribusi ke pusat – pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 127/220 V untuk sistem lama, dan 220/380 V untuk sistem baru, serta 440/550 V untuk keperluan industri. Besarnya tegangan maksimum yang diizinkan adalah +5% dan -10% dari tegangan nominalnya [3]. Penetapan ini sebanding dengan besarnya nilai tegangan jatuh (*voltage drop*) yang telah ditetapkan, bahwa rugi-rugi daya suatu jaringan adalah 15%. Dengan adanya pembatasan tersebut stabilitas penyaluran daya ke pusat-pusat beban tidak terganggu.

2.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20 kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (*Loop*), Jaringan Spindel dan Jaringan Sistem Gugus atau Kluster [4].



Gambar 2. 3 Jaringan Hantaran Penghubung [4]

2.3.3 Jaringan *Loop*

Tipe ini merupakan gabungan dari dua tipe jaringan radial, dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal [4].

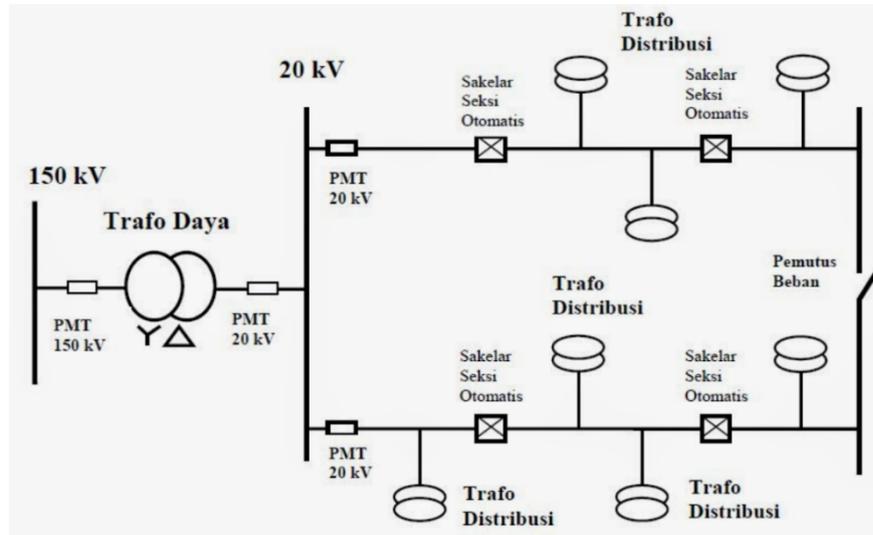
Bentuk *loop* ini ada dua macam, yaitu:

a. Bentuk *open loop*

Apabila dilengkapi dengan *normally-open switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

b. Bentuk *close loop*

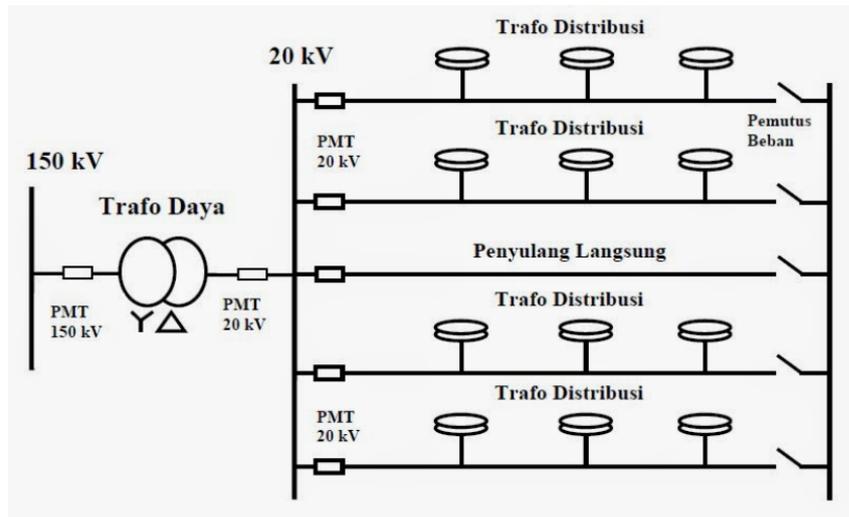
Apabila dilengkapi dengan *normally-close switch*, yang dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.



Gambar 2. 4 Jaringan *Loop* [4]

2.3.4 Jaringan Spindel

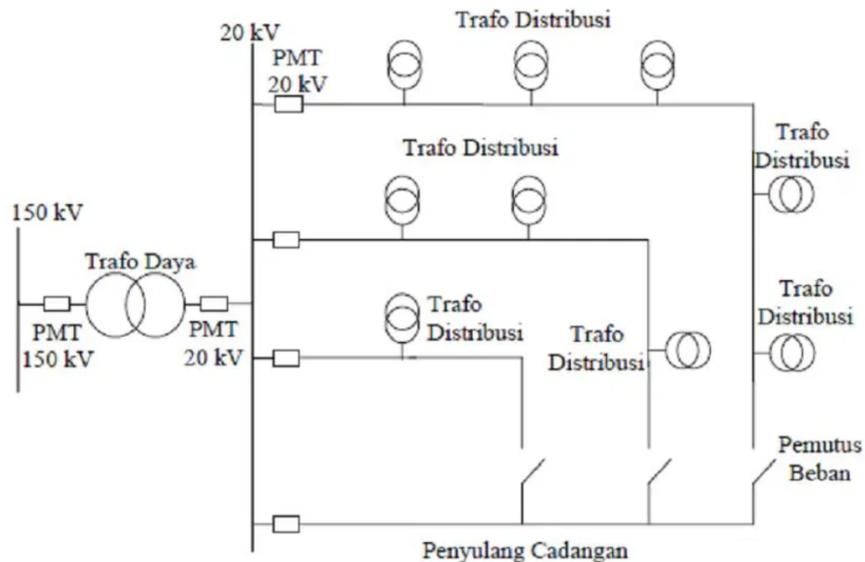
Sistem spindel menggunakan *express feeder* pada bagian tengah yang langsung terhubung dari gardu induk ke gardu hubung, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. Sistem jaringan ini merupakan kombinasi antara jaringan radial dengan jaringan rangkaian terbuka (*open loop*). Titik beban memiliki kombinasi alternatif penyulang sehingga bila salah satu penyulang terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh penyulang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin. Pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manuver ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut. Fungsi "*express feeder*" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "*working feeder*", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya *drop* tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal "*express feeder*" ini sengaja dioperasikan tanpa beban [4].



Gambar 2. 5 Jaringan Spindel [4]

2.3.5 Jaringan Sistem Gugus atau Kluster

Konfigurasi Gugus seperti pada Gambar 2.6 banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan [4].



Gambar 2. 6 Jaringan Sistem Gugus atau Kluster [4]

2.4 Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah

Jaringan distribusi tegangan menengah adalah sistem pendistribusian energi listrik yang dioperasikan dengan tegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi tegangan menengah merupakan jaringan distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk ke pusat-pusat beban. Jaringan distribusi tegangan menengah terletak antara gardu induk dan gardu distribusi. Pada jaringan distribusi tegangan menengah, saluran yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada masing-masing beban disebut penyulang (*feeder*). Konstruksi jaringan listrik tegangan menengah dapat dikelompokkan menjadi 3 macam konstruksi sebagai berikut: [5]

2.4.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran udara tegangan menengah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dioperasikan dengan tegangan menengah 20 kV melalui kawat penghantar di atas tanah. Saluran udara banyak dipakai kota-kota kecil atau kota-kota besar yang penduduknya kurang padat. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan tegangan menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton [5].

Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman

minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar fasa, jarak dengan bangunan, jarak dengan tanaman dan jangkauan manusia. Dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah penghantar AAAC serta penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*). Penggunaan penghantar AAAC-S ini tidak menjamin keamanan tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi cukup untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman dan binatang [5].

Keuntungan saluran udara adalah sebagai berikut:

1. Lebih mudah ketika melakukan inspeksi jaringan.
2. Lebih mudah ketika melakukan perbaikan jaringan.
3. Biaya pengoperasian lebih murah.
4. Bila terjadi gangguan mudah mencarinya, karena semuanya dapat terlihat langsung.

Sedangkan kerugian dari penggunaan konstruksi SUTM adalah:

1. Rentan terkena gangguan akibat faktor eksternal (petir, binatang dan pohon).
2. Harus sering dilakukan inspeksi jaringan agar terhindar dari gangguan.
3. Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi akan mengakibatkan tegangan *drop* lebih tinggi.

2.4.2 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

Suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang dioperasikan dengan tegangan menengah 20 kV melalui kabel yang ditanam di bawah tanah. Saluran bawah tanah banyak dipakai pada kota-kota besar atau daerah yang padat penduduknya.

Penggunaan saluran kabel bawah tanah tegangan menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah suatu upaya peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal atau meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Sistem saluran konstruksi bawah tanah dalam penyaluran tenaga listrik, dilakukan di bawah tanah dengan menggunakan kabel tanah sepanjang daerah beban yang menyuplai tenaga listrik [5].

Adapun keuntungan dari saluran bawah tanah adalah sebagai berikut:

- a. Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb.
- b. Tidak mengganggu pandangan apabila adanya bangunan yang tinggi.
- c. Dari segi estetika, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang.
- d. Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara.
- e. Tegangan *drop* lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan.

Sedangkan, kerugian dari saluran bawah tanah adalah sebagai berikut:

- a. Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara,
- b. Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian titik gangguan tidak mudah (susah)
- c. Perlu pertimbangan-pertimbangan teknis yang lebih mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui.
- d. Tidak dapat menghindari gangguan bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon, dan ketidakstabilan tanah.

2.4.3 Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Saluran kabel ini sama halnya seperti SUTM hanya saja terdapat perbedaan pada penghantar yang digunakan, dimana pada SKUTM penghantar yang digunakan adalah jenis penghantar yang berisolasi yang sering dikenal dengan nama kabel MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Conductor*) [5].

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan saluran udara tegangan menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.

Keuntungan dari penggunaan saluran ini adalah tingkat gangguan yang terjadi dapat berkurang karena penghantar yang digunakan berisolasi sehingga tidak mudah mendapat gangguan dari luar, sedangkan kerugian dari penggunaan MVTIC ketika umur kabel sudah lama maka sering terjadi isolasi dari kabel tembus.

2.5 Manuver Pelimpahan Beban Jaringan Distribusi 20 kV

Manuver jaringan atau manipulasi jaringan merupakan serangkaian kegiatan pelimpahan tenaga listrik dengan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat adanya gangguan atau pekerjaan pemeliharaan jaringan sedemikian rupa sehingga tetap tercapai kondisi penyaluran yang maksimum atau dengan kata lain yang lebih sederhana adalah mengurangi daerah pemadaman.

Manuver jaringan adalah pekerjaan pengalihan atau pelimpahan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara.

Kegiatan yang dilakukan saat manuver:

- a. Menghubungkan bagian - bagian jaringan yang terpisah menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak.
- b. Memisahkan jaringan menjadi bagian-bagian jaringan yang semula terhubung menurut keadaan operasi normalnya, baik dalam keadaan bertegangan maupun tidak

Pelimpahan beban juga dapat diartikan sebagai kegiatan atau pekerjaan pengalihan beban baik sebagian maupun seluruh penyulang ke penyulang lain yang bersifat sementara dengan menutup (memasukkan) atau membuka (melepas) peralatan – peralatan penghubung atau *switching* seperti ABSW, LBS, dan PMT. Optimalisasi atas keberhasilan manuver dari segi teknis ditentukan oleh konfigurasi jaringan dan peralatan manuver yang tersedia di sepanjang jaringan. Peralatan jaringan yang dimaksud adalah peralatan pemutus dan penghubung yang terdiri dari berbagai macam seperti PMT, *Recloser*, LBS, FCO dan *Pole Top Switch* (PTS). Masing-masing peralatan manuver ini memiliki spesifikasi dan fungsi kerja yang berbeda-beda.

Pada saat melakukan manuver jaringan distribusi yang disebabkan karena pekerjaan pemeliharaan atau gangguan, untuk meminimalisir daerah padam pada suatu penyulang, maka beberapa beban yang tidak termasuk ke dalam seksi/daerah gangguan akan dimanuver ke penyulang lain agar tetap memperoleh pasokan energi

listrik. Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan pelimpahan beban antara lain [6]:

1. Urutan fasa antar penyulang harus sama
2. Tegangan antar penyulang harus sama
3. Setting peralatan penyulang seperti *Recloser* dan PMT
4. KHA (kuat hantar arus) penghantar

Selain itu, pada sebuah penyulang biasanya terdiri dari 2 hingga 3 LBS yang berfungsi sebagai pelimpahan beban saat akan melaksanakan manuver yang disebabkan karena terjadinya gangguan atau pemeliharaan jaringan. Hal-hal yang dijadikan pertimbangan untuk menentukan penyulang mana yang akan memaanuver penyulang yang sedang terdapat gangguan maupun pemeliharaan jaringan antara lain:

1. Beban Penyulang

Beban penyulang merupakan hal utama yang dijadikan acuan saat menentukan pelimpahan beban. Penyulang dengan beban yang paling kecil biasanya yang dipilih untuk memaanuver penyulang yang sedang terjadinya pemadaman akibat gangguan maupun pemeliharaan jaringan

2. Peralatan *Switching*

Peralatan *switching* untuk melaksanakan pelimpahan beban biasa disebut LBS, LBS sendiri terbagi menjadi 2 yakni LBS *motorized* dan LBS manual. Dimana perbedaannya yakni dalam cara pengoperasiannya. Hal ini penting dijadikan pertimbangan untuk memilih penyulang saat pelimpahan beban. Dimana pada saat

kondisi ini, tentunya mengutamakan memilih LBS *motorized* untuk mempercepat pemulihan pada bagian yang akan dimanuver.

3. *Drop* tegangan

Drop tegangan merupakan hal yang penting diperhatikan jika terdapat pada daerah pedesaan, karena di daerah pedesaan biasanya pada suatu penyulang memiliki jarak yang relatif panjang. Semakin panjang penyulang, maka semakin besar *drop* tegangan pada ujung penyulang, maka hal ini perlu diperhatikan untuk mengantisipasi terjadinya *drop* tegangan pada ujung penyulang.

2.5.1 Tujuan Pelaksanaan Pelimpahan Beban

Manuver jaringan distribusi dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

- a. Mempercepat penormalan jaringan.
- b. Mempersempit daerah padam atau meminimalisir pelanggan padam.
- c. Pengaturan distribusi beban jaringan.
- d. Pertimbangan keandalan jaringan.

Pelaksana pelimpahan beban jaringan distribusi biasanya dilakukan dalam rangka pemeliharaan jaringan, adanya gangguan, dan guna keandalan suatu wilayah atau tempat. Petugas yang memberikan perintah pelimpahan beban jaringan distribusi 20 KV yaitu:

- a. *Dispatcher* UP2D
- b. *Dispatcher* Area/UP3
- c. *Dispatcher* Unit/Rayon/ULP
- d. Pengawas Lapangan

- e. Petugas pelaksana atau Petugas gangguan

2.5.2 Syarat Pelimpahan Beban Penyulang Jaringan Distribusi.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi saat melakukan manuver jaringan distribusi:

- a. Tegangan dan frekuensi antara kedua penyulang yang akan dimanuver dalam keadaan sama ataupun maksimal beda tegangan 0,5 KV.
- b. Apabila kedua penyulang berasal dari transformator yang berbeda daya nya maka harus dipastikan nilai tegangan transformatornya sama terlebih dahulu ke pihak APD atau Area atas permintaan Rayon.
- c. Penyulang yang menerima pelimpahan beban harus mampu menerima beban yang akan dilimpahkan.
- d. Urutan ketiga fasa antara kedua penyulang yang akan dimanuver harus sama.
- e. Penampang konduktor kedua penyulang harus sama ukurannya.
- f. Peralatan manuver atau *switching* harus dalam keadaan baik untuk beroperasi.

Apabila antara dua penyulang tersebut tidak dapat langsung *join*, maka akan ada pemadaman sesaat untuk proses pelimpahan beban. Namun ketika antar penyulang langsung dapat *join*, maka tidak ada pemadaman sesaat.

2.5.3 Jenis-jenis Manuver Beban Antar Penyulang

Terdapat 2 jenis manuver beban antar penyulang, yakni:

1. Manuver Secara Manual

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang utama dan penyulang cadangan dilakukan secara manual dimana petugas/operator

langsung menuju gardu hubung atau tempat yang akan dilakukannya manuver.

2. Manuver Beban Secara Otomatis

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan ATS (*Automatic Transfer Switch*), apabila terjadi gangguan pada penyulang (prioritas 1) maka ATS akan langsung bekerja memindahkan aliran listrik pada penyulang (prioritas 2).

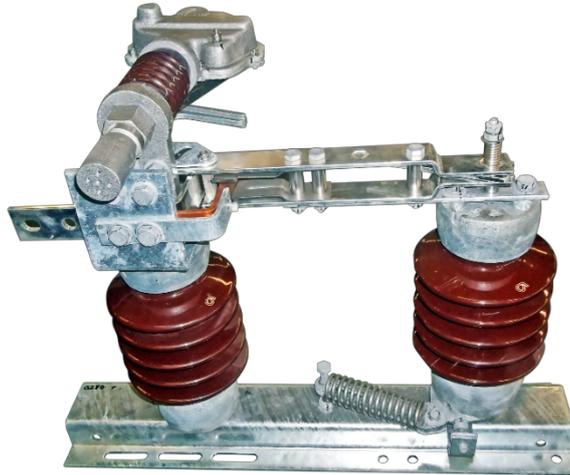
2.6 Peralatan Yang Digunakan Dalam Manuver Jaringan Distribusi

Dalam usaha menjaga kontinuitas pelayanan penyaluran tenaga listrik, maka dilakukan manuver jaringan distribusi untuk mengurangi area padam yang dialami pelanggan atau konsumen. Untuk pelaksanaan manuver jaringan distribusi maka jaringan distribusi harus berbentuk minimal terhubung *loop* dengan jaringan yang lain serta memiliki sumber transformator yang berbeda dengan jaringan yang akan digunakan untuk manuver jaringan. Untuk menghubungkan jaringan satu dengan yang lainnya dapat digunakan beberapa peralatan saklar penghubung atau *switching*, adapun saklar penghubung atau *switching* yang digunakan dalam manuver jaringan distribusi yakni:

2.6.1 Sakelar Pemisah

Sakelar pemisah atau yang sering disebut dengan *Disconnecting Switch* (DS) merupakan sakelar yang didesain untuk memutus rangkaian listrik pada kondisi tanpa beban dan bekerja secara manual. Sakelar pemisah merupakan

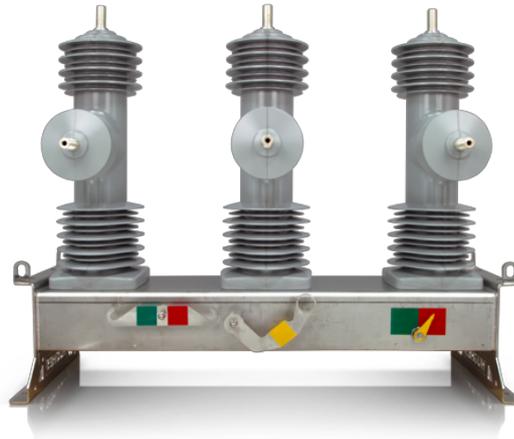
pasangan *circuit breaker*. Fungsi pemisah yaitu memisahkan suatu bagian beban dari sumbernya pada tidak berarus atau berbeban [7].



Gambar 2. 7 Saklar Pemisah [7]

2.6.2 *Recloser*

Penutup balik otomatis atau *recloser* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengindera arus lebih, mengatur waktu dan memutus arus lebih serta untuk menutup balik secara otomatis dan memberikan tegangan kembali pada saluran. Desain dari *recloser* memungkinkan untuk dapat membuka kontak-kontaknya secara tetap dan terkunci (*lock out*). Sebelum dinyatakan gangguan tersebut adalah gangguan permanennya *recloser* akan menguji secara berulang-ulang untuk menetapkan bahwa gangguan sudah hilang. Biasanya *recloser* akan membuka dan menutup berturut-turut sampai 2 sampai 3 kali, jika sudah 2 sampai 3 kali pengujian gangguan masih dapat diasumsikan gangguan tersebut adalah gangguan permanen dan *recloser* akan mengunci (*lockout*) [7].



Gambar 2. 8 *Recloser* [7]

2.6.3 *Load Break Switch (LBS)*

Load Break Switch (LBS) merupakan suatu saklar yang diletakkan di atas tiang jaringan yang berfungsi sebagai pembatas atau pengisolir lokasi gangguan pada beban. Alat ini berfungsi sebagai saklar hubung antar penyulang dengan penyulang lainnya dalam keadaan darurat [7].



Gambar 2. 9 *Load Break Switch* [7]

2.7 Kontinuitas Pelayanan Sistem Distribusi

Kontinuitas pelayanan merupakan salah satu unsur dari mutu pelayanan yang nilainya akan tergantung kepada jenis sarana penyalurannya, sarana peralatan pengaman yang dipilihnya. Tingkat kontinuitas pelayanan dari peralatan penyalur tenaga listrik disusun berdasarkan lamanya upaya untuk pemulihan suplai tenaga listrik ke konsumen setelah mengalami pemutusan. Pada SPLN 52-3 tingkat kontinuitas pelayanan tenaga listrik tersusun seperti berikut [8]:

A. Kontinuitas Tingkat 1

Pada tingkat ini memungkinkan jaringan berada pada kondisi padam dalam waktu berjam-jam dalam rangka mencari dan memperbaiki bagian bagian yang mengalami kerusakan karena gangguan.

B. Kontinuitas Tingkat 2

Kondisi jaringan padam dimungkinkan dalam waktu beberapa jam untuk keperluan mengirim petugas kelapangan, melokalisir kerusakan dan melakukan pengaturan *switching* untuk menghidupkan suplai beban pada kondisi sementara dari arah atau saluran lain.

C. Kontinuitas Tingkat 3

Dimungkinkan padam dalam waktu beberapa menit untuk kegiatan pengaturan *switching* dan pelaksanaan *switching* oleh petugas yang *stand by* di gardu atau pelaksanaan deteksi dengan bantuan Pusat Pengatur Jaringan Distribusi yang disingkat PPJD (DCC) / APD (Area Pengatur Distribusi).

D. Kontinuitas Tingkat 4

Dimungkinkan padam dalam beberapa detik, pengaturan *switching* dan pengamanan dilaksanakan secara otomatis.

E. Kontinuitas Tingkat 5

Dimungkinkan tanpa adanya pemadaman dengan melengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis penuh

Jaringan distribusi untuk luar kota (pedesaan) terdiri dari saluran udara dengan susunan jaringan menggunakan konfigurasi radial yang memenuhi kontinuitas tingkat 1 sedangkan untuk daerah dalam kota terdiri dari saluran udara dengan susunan jaringan menggunakan konfigurasi *loop* atau gelang atau cincin atau yang lebih baik yaitu konfigurasi spindel dengan bantuan PPJD (Pusat Pengatur Jaringan Distribusi) dimana tingkat kontinuitas sistem ini akan menjadi lebih baik lagi.

2.8 Strategi Operasi

Mengatur operasi sistem pembangkitan dan penyaluran secara rasional dan ekonomis dengan memperhatikan mutu dan keandalan, sehingga penggunaan tenaga listrik dapat mencapai daya guna dan hasil guna yang semaksimal mungkin, sesuai dengan SK Nomor 032/DIR/1981 tanggal 30 Maret 1981 dan SK Nomor 028/DIR/1987 tanggal 1 April 1987. Dari SK Direksi PLN tersebut dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga tujuan operasi sistem, yaitu [9]:

- Ekonomi

Optimasi pengoperasian tenaga listrik tanpa melanggar batasan keamanan dan mutu

- Keandalan

Kemampuan Sistem untuk menghadapi kejadian yang tidak direncanakan, tanpa mengakibatkan pemadaman

- Mutu

Kemampuan sistem untuk menjaga agar semua batasan operasi terpenuhi.