

SKRIPSI

**PENENTUAN FAKTOR DOMINAN PENYEBAB GANGGUAN
SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH UNTUK
ANALISA INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA
LISTRIK UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) DAYA**

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI JAELANI PRATAMA SYAH
D041 18 1035**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENENTUAN FAKTOR DOMINAN PENYEBAB GANGGUAN
SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH UNTUK ANALISA
INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK UNIT
LAYANAN PELANGGAN (ULP) DAYA**

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI JAELANI PRATAMA SYAH

D041 18 1035

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 27 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

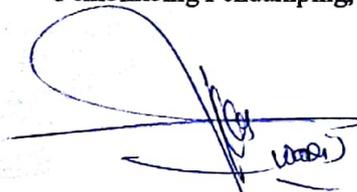
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



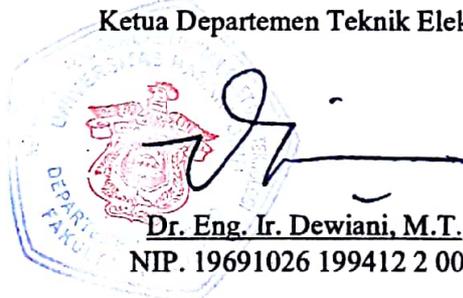
Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T.
NIP. 19601106 198601 2 001

Pembimbing Pendamping,



Ir. Tajuddin Waris, M.T.
NIP. 19650424 199203 1 003

Ketua Departemen Teknik Elektro,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.
NIP. 19691026 199412 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Andi Jaelani Pratama Syah
NIM : D041181035
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan
Menengah Untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Unit
Layanan Pelanggan (Ulp) Daya**

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

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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, 16 Juli 2023

Yang menyatakan



Andi Jaelani Pratama Syah

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Taala yang telah melimpahkan rahmat taufik, dan inayah-Nya sehingga penelitian yang telah dilakukan dan skripsi yang disusun dapat diselesaikan. Bershalawat kepada Rasulullah Muhammad Sallallahu alaihi wa Sallam yang telah menjadi pemimpin sejati yang pernah diutus oleh Allah swt. di dunia ini. Semoga kita termasuk orang-orang yang mendapatkan syafaat beliau di hari pembalasan kelak. Aamiin.

Skripsi ini berjudul **Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah Untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Unit Layanan Pelanggan (Ulp) Daya**. Skripsi ini merupakan salah satu unsur yang harus dipenuhi oleh mahasiswa Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin untuk dapat menyelesaikan masa studinya. Selain alasan utama tersebut, semoga penelitian yang ada di dalam skripsi ini juga dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan mahasiswa Teknik Elektro.

Penyusunan skripsi ini membutuhkan waktu yang cukup lama. Penelitian ini dimulai pada bulan Juli 2022 hingga Mei 2023. Hal ini disebabkan karena awalnya penulis masih belum fokus mengerjakannya. Adanya tambahan tanggung jawab lain juga menjadi salah satu faktor terbaginya fokus penulis. Namun demikian, setelah penulis bertekad kuat untuk menyelesaikan skripsi ini, akhirnya selangkah demi selangkah hal itu dapat terwujud.

Selesainya skripsi ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak yang telah berperan dalam memberikan bantuan, semangat, dan motivasi. Keikhlasan mereka membuat penulis dapat menyelesaikan skripsi ini lebih mudah meskipun tetap menghadapi kendala. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan moril dan materiil sehingga skripsi ini dapat kami selesaikan. Mereka juga salah satu sumber

semangat penulis yang tidak terukur nilainya. Semoga mereka mendapatkan tempat yang layak di sisi Allah Subhanahu wa Taala yang telah dengan tulus ikhlas mendukung penulis demi memperoleh ilmu yang bermanfaat.

2. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku Pembimbing II, terima kasih telah bersedia membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Yusri Syam Akil, ST.,MT.,Ph.D selaku Penguji I dan Ibu Ir. Hasniaty, S.T., M.T. Ph.D selaku Penguji II, terima kasih telah bersedia menguji skripsi penulis sehingga penulis dapat memahami lebih baik bahasan yang ada di dalam skripsi ini.
5. Seluruh dosen dan staf pengajar serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama penulis menempuh proses perkuliahan.
6. Senior-senior Anak Teknik yang telah memberikan wawasan keilmuan non Elektro sehingga penulis mampu memahami lebih jauh tentang berbagai hal dalam menghadapi berbagai konteks interaksi sosial.
7. Teman-teman seangkatan CALIBRATOR yang telah kebersamai segala aktivitas penulis di kampus, baik aktivitas akademik maupun non akademik sehingga tumbuh kreativitas dan pengalaman untuk terus maju dan berkembang. Semoga kita selalu solid dalam setiap urusan yang akan datang.
8. Teman-teman yang tergabung dalam grup Laboratorium Riset Mesin-Mesin Listrik yang telah memotivasi penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Saudari Meyke Rupang yang telah memberi dukungan dan motivasi agar dapat menyelesaikan skripsi ini.
10. Saudara Anugrah Agung Saputra yang telah membantu penulis dalam menyusun skripsi ini.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang diberikan akan menjadi bahan penulis untuk memperbaiki skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan pengetahuan kepada pribadi penulis dan setiap entitas yang membacanya.

Gowa, 3 Juni 2023

Penulis

ABSTRAK

ANDI JAELANI PRATAMA SYAH. *Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah Untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Unit Layanan Pelanggan (ULP) Daya* (dibimbing oleh Sri Mawar Said dan Tajuddin Waris)

Saat ini energi listrik merupakan salah satu faktor pendukung yang penting baik untuk kehidupan manusia maupun infrastruktur yang ada sebab itu dalam penyaluran energi listrik harus andal. Sehingga segala jenis gangguan perlu diminimalisir, agar tetap menjaga keandalan pendistribusian energi listrik. Oleh sebab itu pengembangan system distribusi energi listrik sangat esensial dalam mengatasi hal tersebut. Jaringan distribusi yang sangat rawan akan terjadinya gangguan eksternal adalah jaringan distribusi dengan penghantar terbuka yang saat ini sebagian besar masih digunakan di PT. PLN ULP Daya meskipun secara bertahap mulai menggantinya dengan penghantar yang berisolasi. Sehingga penting untuk menentukan faktor dominan penyebab gangguan SUTM sekaligus menganalisa indeks keandalan melalui perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI dengan mengikuti standar SPLN 68-2:1986. Berdasarkan hasil penelitian terdapat tujuh gangguan eksternal yang terjadi pada lima penyulang di ULP Daya pada tahun 2021, diantaranya diakibatkan oleh gangguan alam, layang-layang dan umbul-umbul, binatang/pekerja pihak 3, pohon, tidak jelas, komponen JTM, dan tiang. Dari ke-tujuh penyebab gangguan tersebut, gangguan yang paling dominan adalah gangguan akibat komponen JTM yang memiliki frekuensi dan durasi gangguan yang lebih banyak dan lama dari gangguan lainnya. Sementara dari perhitungan nilai indeks keandalan dari ke-lima penyulang yaitu penyulang Bontoa, Gombara, Salodong, Unhas, Ujung Pandang memiliki nilai SAIDI masing-masing 0,0423; 0,2125; 2,2455; 3,9919; dan 2,9378 dan nilai SAIFI masing-masing 0,2168; 0,3360; 2,8008; 2,1960; dan 1,9669. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa kelima penyulang tersebut dikategorikan andal karena memenuhi standar nilai SAIDI dan SAIFI berdasarkan SPLN 68-2:1986 yaitu $SAIDI \leq 21,09$ Jam/pelanggan/ tahun dan untuk indikasi SAIFI $\leq 3,2$ kali/ pelanggan /tahun.

Kata kunci: Gangguan eksternal, SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI, SPLN 68-2:1986,

ABSTRACT

ANDI JAELANI PRATAMA SYAH. *Determination of the Dominant Factors that Cause Interference to Medium-Voltage Overhead Lines for Analysis of the Reliability Index of Electricity Supply At Customer Service Units (ULP) Daya* (supervised by Sri Mawar Said and Tajuddin Waris)

Currently, electrical energy is one of the important supporting factors for both human life and existing infrastructure. Therefore, it is crucial to have a reliable electricity distribution system to minimize any kind of disturbance and ensure the reliability of electricity distribution. The distribution network that is very prone to external disturbances is the distribution network with open conductors which are currently mostly used in PT. PLN's customer service unit Daya though is gradually starting to replace them with insulated conductors. Therefore, it is important to determine the dominant factors causing disturbances in the distribution network and analyze the reliability indices by calculating SAIDI, SAIFI, CAIDI, and CAIFI values following the SPLN 68-2:1986 standard. Based on research results, there were seven external disturbances that occurred in five feeders in the Power Utility in 2021. These disturbances were caused by natural factors, kites, balloons, third-party interference, trees, unclear causes, medium voltage network components, and poles. Among these seven causes of disturbances, the most dominant one was the disturbances caused by the medium voltage network components which have a greater frequency and duration of disturbances than other disturbance. Meanwhile, based on the calculation of reliability indices for the five feeders (Bontoa, Gombara, Salodong, Unhas, Ujung Pandang), they had SAIDI values of 0,0423; 0,2125; 2,2455; 3,9919; and 2,9378, and SAIFI values of 0,2168; 0,3360; 2,8008; 2,1960; and 1,9669, respectively. According to these values, it can be concluded that all five feeders are categorized as reliable since they meet the standard SAIDI and SAIFI values based on SPLN 68-2:1986, which are $SAIDI \leq 21.09$ hours/customer/year and $SAIFI \leq 3.2$ times/customer/year.

Keyword : external disturbance, SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI, SPLN 68-2:1986

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xv
1 BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan	6
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Tenaga Listrik	7
2.2 Sistem Distribusi.....	9
2.3 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).....	19
2.4 Keandalan Sistem Distribusi	34
2.5 PT. PLN (Persero) ULP Daya	39
3 BAB III METODE PENELITIAN	42
3.1 Judul Penelitian.....	42
3.2 Tempat Penelitian	42
3.3 Waktu Penelitian.....	42
3.4 Alat dan Bahan	42
3.5 Tahapan Penelitian	43

3.6 Teknik Pengumpulan Data	44
3.7 Teknik Pengolahan/Analisis Data	44
3.8 Diagram Alir Penelitian.....	45
4 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Penyebab gangguan pada ULP Daya.....	46
4.2 Data gangguan ULP Daya pada tahun 2021.....	46
4.3 Pembahasan/Analisis Data	65
5 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	88
5.1 Kesimpulan.....	88
5.2 Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik (Syufrijal Readysal Monantun, 2014).....	8
Gambar 2 Diagram garis Tunggal Sistem Tenaga Listrik (Syufrijal Readysal	9
Gambar 3 Pengelompokan Sistem Distribusi Tenaga Listrik (Hasanuddin dan... 10	10
Gambar 4 Diagram Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Hasanuddin dan 12	12
Gambar 5 Jaringan Distribusi Primer 20 kV (Daman Suswanto, 2009).....	13
Gambar 6 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	13
Gambar 7 Skema Saluran Sistem Radial (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	15
Gambar 8 Skema Saluran Sistem <i>Tie Line</i> (Muh. Fajri Mustari, 2021)	15
Gambar 9 Skema Saluran Sistem <i>Loop</i> (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)....	16
Gambar 10 Skema Saluran Sistem Spindel (Syufrijal Readysal Monantun, 2014).....	17
Gambar 11 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)	18
Gambar 12 Konstruksi Saluran Udara Tegangan Menengah (Daman Suswanto, 2009).....	20
Gambar 13 Contoh Letak Pemasangan <i>Fused Cut Out</i> (FCO) dan <i>Load Break Switch</i> (LBS) (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	22
Gambar 14 Contoh gangguan yang disebabkan oleh pohon (Hasanuddin dan.....	30
Gambar 15 Contoh gangguan yang disebabkan oleh layang-layang (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	30
Gambar 16 Contoh gangguan yang disebabkan oleh pihak ke-3 (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	31
Gambar 17 Contoh gangguan yang disebabkan oleh binatang (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	32
Gambar 18 Gangguan yang disebabkan komponen JTM (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	32
Gambar 19 Contoh gangguan yang disebabkan oleh gardu (Hasanuddin dan.....	33

Gambar 20 Contoh gangguan yang disebabkan tiang (Hasanuddin dan Fadli, 2019).....	33
Gambar 21 Gedung dan lokasi kantor PT. PLN (Persero) Daya	39
Gambar 22 Diagram Alir Penelitian	45
Gambar 23 Persentase gangguan perindikasi PMT dan Recloser tahun 2021 dari bulan Januari-Desember (PT. PLN (Persero) Daya)	48
Gambar 24 Persentase penyebab gangguan tahun 2021 dari bulan Januari-Desember (PT. PLN (Persero) Daya)	49
Gambar 25 Persentase penyebab gangguan (trip) temporer pada tahun 2021 dari bulan Januari-Desember (PT. PLN (Persero) Daya)	51
Gambar 26 Persentase penyebab gangguan (trip) permanen pada tahun 2021 dari bulan Januari-Desember (PT. PLN (Persero) Daya)	53
Gambar 27 Single Line Diagram Sistem Distribusi Penyulang Bontoa (PT. PLN (Persero) ULP Daya).....	56
Gambar 28 Single Line Diagram Sistem Distribusi Penyulang Gombara (PT. PLN (Persero) ULP Daya).....	56
Gambar 29 Single Line Diagram Sistem Distribusi Penyulang Salodong (PT. PLN (Persero) ULP Daya).....	57
Gambar 30 Single Line Diagram Sistem Distribusi Penyulang Unhas (PT. PLN (Persero) ULP Daya)	57
Gambar 31 Single Line Diagram Sistem Distribusi Penyulang Ujung Pandang (PT. PLN (Persero) ULP Daya).....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Jenis-jenis isolator tumpu	22
Tabel 2 Jenis-jenis isolator tarik	22
Tabel 3 Jarak aman SUTM	25
Tabel 4 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2:1986	36
Tabel 5 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003	36
Tabel 6 Daftar alat-alat yang digunakan dalam penelitian.....	42
Tabel 7 Jenis-jenis Gangguan Pada ULP Daya.....	46
Tabel 8 Gangguan perindikasi PMT dan REC.....	47
Tabel 9 Data penyebab gangguan tahun 2021 dari bulan Januari-Desember	48
Tabel 10 Data penyebab gangguan (trip) temporer pada tahun 2021 dari bulan	50
Tabel 11 Total penyebab gangguan (trip) temporer pada tahun 2021 dari bulan Januari-Desember	51
Tabel 12 Data penyebab gangguan (trip) permanen pada tahun 2021 dari bulan Januari-Desember	52
Tabel 13 Total penyebab gangguan (trip) permanen pada tahun 2021 dari bulan Januari-Desember	53
Tabel 14 Data gangguan per penyulang di ULP Daya pada tahun 2021	54
Tabel 15 Data lama gangguan di ULP Daya pada tahun 2021	55
Tabel 16 Data gangguan Penyulang Bontoa	58
Tabel 17 Data gangguan Penyulang Gombara.....	60
Tabel 18 Data gangguan Salodong	62
Tabel 19 Data gangguan Penyulang Unhas	63
Tabel 20 Data gangguan Penyulang Ujung Pandang.....	64
Tabel 21 Ketentuan Perhitungan nilai SAIDI dan SAIFI	68
Tabel 22 Hasil perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI pada penyulang Bontoa.....	69
Tabel 23 Hasil perhitungan SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI pada penyulang Gombara	70

Tabel 24 Hasil perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI pada penyulang Salodong	72
Tabel 25 Hasil perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI pada penyulang Unhas	73
Tabel 26 Hasil perhitungan nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI pada penyulang Ujung Pandang.....	75
Tabel 27 Nilai Total SAIDI, SAIFI, CAIDI, CAIFI setiap penyulang	75
Tabel 28 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim hujan di penyulang Bontoa PLN ULP Daya periode 2021.....	76
Tabel 28 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim hujan di penyulang Gombara PLN ULP Daya periode 2021	76
Tabel 30 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim hujan di penyulang Salodong PLN ULP Daya periode 2021	77
Tabel 31 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim hujan di penyulang Unhas PLN ULP Daya periode 2021	77
Tabel 32 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim hujan di penyulang Ujung Pandang PLN ULP Daya periode 2021	78
Tabel 33 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim kemarau di penyulang Bontoa PLN ULP Daya periode 2021.....	78
Tabel 34 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim kemarau di penyulang Gombara PLN ULP Daya periode 2021	79
Tabel 35 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim kemarau di penyulang Salodong PLN ULP Daya periode 2021	79
Tabel 36 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim kemarau di penyulang Unhas PLN ULP Daya periode 2021	80
Tabel 37 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI pada musim kemarau di penyulang Ujung Pandang PLN ULP Daya periode 2021	80
Tabel 38 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI setiap penyulang pada musim hujan di PLN ULP Daya periode 2021.....	81
Tabel 39 Nilai SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI setiap penyulang pada musim kemarau di PLN ULP Daya periode 2021	81

Tabel 40 Perbandingan nilai SAIDI pada ULP Daya dan SPLN 68-2 Tahun 1986	82
Tabel 41 Perbandingan nilai SAIFI pada ULP Daya dan SPLN 68-2 Tahun 1986	83
Tabel 42 Perbandingan nilai SAIDI pada ULP Daya dan IEEE 1366-2003	84
Tabel 43 Perbandingan nilai SAIFI pada ULP Daya dan IEEE 1366-2003	84
Tabel 44 Perbandingan nilai CAIDI pada ULP Daya dan IEEE 1366-2003	85

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
SAIDI	<i>System Average Interuption Duration Indeks</i>
SAIFI	<i>System Average Interuption Frequency Indeks</i>
CAIDI	<i>Consumer Average Interuption Duration Indeks</i>
CAIFI	<i>Consumer Average Interuption Frequency Indeks</i>
λ_i	Frekuensi gangguan
U_i	Waktu pemadaman dalam periode tertentu
N_i	Jumlah pelanggan yang padam
N	Jumlah pelanggan yang dilayani

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini energi listrik merupakan salah satu faktor pendukung yang penting baik untuk kehidupan manusia maupun infrastruktur yang menyangkut hajat hidup orang banyak oleh sebab itu dalam penyaluran energi listrik harus dapat menjamin kontinuitas dan sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan, harga yang wajar dan mutu yang baik. Selain dipengaruhi oleh faktor pertumbuhan ekonomi, perkembangan energi listrik juga dipengaruhi oleh faktor perkembangan penduduk dan industri– industri baru yang akan dilistriki (*Agung Syah Putra, 2021*). Di era sekarang pertumbuhan penduduk dan industri kian meningkat yang tentunya sebanding dengan peningkatan kebutuhan energi listrik masyarakat. Melihat pertumbuhan kebutuhan energi listrik yang begitu pesat, pengembangan system distribusi energi listrik merupakan bagian yang esensial dalam mengatasi hal tersebut. Perencanaan yang matang juga diperlukan sebab berkaitan dengan tujuan pengembangan system distribusi harus memenuhi beberapa kriteria teknis yang efisien. Faktor-faktor yang mempengaruhi pengembangan jaringan distribusi baru adalah pembebasan lahan, ketersediaan material, penambahan jaringan dan system pengamanan yang sesuai (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

Dalam suatu sistem penyaluran energi listrik tak lepas dari yang namanya gangguan baik itu yang disebabkan karena gagguan internal maupun gangguan eksternal yang nantinya akan menyebabkan terputusnya penyaluran energi listrik ke konsumen (*Candra Heri Saputro, 2019*). Saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan kawat terbuka merupakan saluran yang paling rawan terhadap gangguan eksternal, yaitu gangguan yang diakibatkan dari luar sistem. Salah satu gangguan yang terjadi yaitu karena sentuhan pohon yang merupakan penyebab gangguan pelayanan distribusi tenaga listrik yang paling banyak dilaporkan diseluruh unit pelayanan PLN sebagai akibat dari banyaknya pohon-pohon yang tumbuh disekitar jaringan SUTM, baik itu milik masyarakat umum maupun dinas

pertamanan pemerintah kota/daerah (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

Selain itu, binatang seperti burung, kelelawar, ular dan hewan lainnya juga merupakan faktor eksternal yang dapat menyebabkan terganggunya sistem penyaluran energi listrik. Dibeberapa tempat ada juga benang layangan dilaporkan sebagai salah satu penyebab gangguan pelayanan tenaga listrik. Gangguan-gangguan semacam ini dapat dikategorikan sebagai gangguan sesaat (*temporer*) artinya gangguan ini dapat hilang dengan sendirinya pada saat beroperasinya alat pengaman distribusi seperti penutup balik otomatis (*Recloser*) atau *Sectionalizer* atau bahkan dapat pula gangguan ini hilang sendiri karena dahan pohon yang terangkat kembali karena hembusan angin (*Agung Syah Putra, 2021*).

Dalam sistem tenaga listrik gangguan yang terjadi tersebut merupakan pemicu terbentuknya pemadaman listrik yang membuat terputusnya aliran listrik ke pelanggan. Seberapa sering dan lamanya terjadi pemadaman inilah kita dapat melihat keandalan sistem distribusi (*Erikson Patartua Sibarani, 2021*). Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik akan membuat nilai keandaa berubah sehingga gangguan tersebut akan berdampak pada nilai keandalan, yang mana keandalan sistem jaringan distribusi memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhsn tenaga listrik yang akan disalurkan ke konsumen (*Muh. Fajri Mustari, 2021*). Tingkat keandalan jaringan distribusi biasanya diukur dengan dua parameter, yaitu SAIDI dan SAIFI (*Yogi Darul Fadli, 2021*). SAIDI (*Standar Average Interruption Duration Indeks*) dan SAIFI (*Standar Average Interruption Frequency Indeks*) ini merupakan sebuah parameter yang menunjukkan besarnya suatu kegagalan atau pemadaman layanan listrik ke pelanggan (*Arief Kurniawan, 2021*).

Dengan banyaknya gangguan pada SUTM yang mempengaruhi turunnya indeks keandalan suatu sistem merupakan tantangan yang serius bagi PT.PLN (Persero) pada saat sekarang ini, dikarenakan dapat merugikan pihak PLN sebagai produsen yang kehilangan kesempatan untuk menjual daya listrik yang telah dihasilkan, hal tersebut juga berdampak pada konsumen apalagi konsumen yang membutuhkan listrik secara kontinyu. Berdasarkan hal tersebut saya tertarik mengambil judul ” Penentuan Faktor Dominan Penyebab Gangguan Saluran Udara

Tegangan Menengah Untuk Analisa Indeks Keandalan Penyediaan Tenaga Listrik Unit Layanan Pelanggan (ULP) Daya”, dikarenakan kondisi daerah kerja distribusi PT.PLN khususnya di PT. PLN Unit Layanan Pelanggan Daya yang daerah distribusi tenaga listriknya sangat rawan akan gangguan, khususnya gangguan SUTM pada sistem distribusi tenaga listrik mengingat konstruksi serta peralatan SUTM-nya yang sudah tua dengan sebagian besar menggunakan penghantar terbuka pada jaringannya yang tentu sangat rawan akan terjadinya gangguan. Dapat kita lihat jika dibandingkan dengan PT. PLN ULP Karebosi, ULP Daya memiliki jumlah gangguan yang lebih banyak. Hal tersebut berdasarkan pada data jumlah gangguan yang terjadi pada PT. PLN ULP Daya dan PT. PLN ULP Karebosi masing-masing pada tahun 2019 sebanyak 173 dan 134 gangguan, kemudian pada tahun 2020 sebanyak 109 dan 109 gangguan, dan pada tahun 2021 sebanyak 248 dan 171 gangguan. Gangguan pada penyaluran SUTM sangat berpengaruh nantinya pada mutu kualitas kerja PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Daya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan faktor dominan gangguan di PT.PLN (Persero) ULP Daya?
2. Bagaimana cara menentukan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI dan CAIFI?
3. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan keandalan pada sistem SUTM tegangan menengah antara PT. PLN ULP Daya dengan SPLN 68-2 : 1986 dan IEEE 1366-2003?
4. Bagaimana solusi/tindakan untuk meminimalisir gangguan yang ada di PT.PLN (Persero) ULP Daya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Untuk menentukan faktor dominan gangguan yang ada di PT.PLN (Persero) ULP Daya.
2. Untuk menentukan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI, dan CAIFI.
3. Untuk mengetahui kendalan pada sistem SUTM salah satu PT. PLN (Persero) ULP Daya sudah sesuai dengan standar SPLN 68-2:1986 dan IEEE 1366-2003.
4. Untuk menentukan tindakan dalam meminimalisir terjadinya gangguan di wilayah kerja PT.PLN (Persero) ULP Daya.

1.4 Manfaat Penelitian

Dalam pembuatan tugas akhir ini diharapkan bisa memberi manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui apa saja faktor dominan yang menyebabkan terjadinya gangguan pada SUTM pada Unit Layanan Pelanggan Daya.
2. Bagi PT. PLN sendiri juga dapat bermanfaat sebagai bahan perbandingan ataupun masukan terhadap gangguan pada SUTM pada ULP Daya.
3. Sebagai pedoman dalam memperoleh nilai keandalan yang memenuhi standar pada jaringan tegangan menengah.
4. Sebagai acuan untuk mengetahui tingkat keandalan sistem jaringan distribusi pada PT. PLN (Persero) ULP Daya.

1.5 Batasan Masalah

Ruang lingkup masalah yang akan dibahas di dalam penelitian ini mencakup:

1. Objek penelitian adalah salah satu PT. PLN (Persero) ULP Daya.

2. Data gangguan yang diambil adalah data pada bulan Januari-Desember tahun 2021.
3. Hanya difokuskan pada gangguan eksternal yang terjadi pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) pada ULP Daya.
4. Menggunakan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI yang sesuai dengan standar SPLN 68-2:1986.
5. Menggunakan indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI yang sesuai dengan standar IEEE 1366-2003.

1.6 Metode Penelitian

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk mencari bahan referensi baik berupa buku, artikel, jurnal ilmiah, *browsing* melalui internet, maupun sumber lain yang berhubungan dengan penelitian ini.
2. Pengumpulan dan Pengolahan Data.
Pengambilan data dilakukan di salah satu PT. PLN (Persero) di Makassar Utara, yang selanjutnya dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *software* Microsoft excel.
3. Analisa Hasil Pengolahan Data
Analisis hasil pengolahan data ini dilakukan untuk memperoleh kesimpulan sementara, kemudian selanjutnya kesimpulan sementara ini akan diolah lebih lanjut pada bab hasil dan pembahasan.
4. Kesimpulan
Penarikan kesimpulan ini merupakan hasil akhir dari semua permasalahan yang diteliti. Kesimpulan dapat diperoleh setelah dilakukan korelasi antara hasil pengolahan data dengan permasalahan yang diteliti.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran awal dari tugas akhir ini, berupa latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori yang mendasari proses pengambilan dan pengolahan data serta penarikan kesimpulan akhir dari penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metode-metode pelaksanaan penelitian, Judul penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, dan proses pengambilan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data yang telah diperoleh dan dianalisis sesuai dengan kebutuhan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

2.1.1 Defenisi Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik merupakan bentuk energi sekunder yang dihasilkan/dibangkitkan, kemudian ditransmisikan dan didistribusikan kepada pelanggan/konsumen dan dimanfaatkan untuk segala macam keperluan (*Syufrijal dan Readysal Monantun, 2014*). Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat-pusat tenaga listrik yang di interkoneksi satu dengan yang lainnya, melalui transmisi atau distribusi untuk memasok ke beban atau satu pusat listrik dimana mempunyai beberapa unit generator yang diparalel (*Candra Heri Saputro, 2019*). Pusat-pusat listrik, biasa juga di sebut sentral-sentral listrik (electric power stations), terutama yang menggunakan tenaga air, biasanya jauh letaknya dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan. Karena itu, tenaga listrik yang dibangkitkan harus disalurkan melalui kawat-kawat (saluran-saluran) transmisi. Saluran-saluran ini membawa tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit, baik PLTA, PLTU dan sebagainya ke pusat beban (*A. Arismunandar dan S. Kuwahara, 2004*).

Pada umumnya suatu sistem tenaga listrik yang lengkap memiliki empat unsur, diantaranya:

- a. Sistem Pembangkit
- b. Sistem Transmisi
- c. Sistem Distribusi
- d. Sistem Sambungan Pelayanan (*PT. PLN (Persero), 2010*).

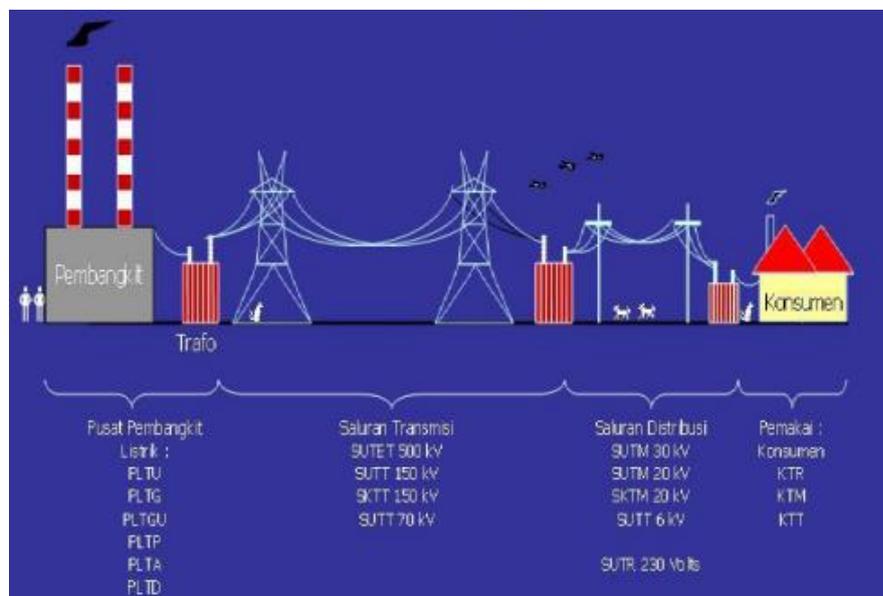
Pertama, adanya suatu unsur pembangkit tenaga listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh pusat tenaga listrik itu biasanya merupakan tegangan menengah (TM). Kedua, suatu sistem transmisi lengkap dengan gardu induk. Karena pusat-pusat listrik berada jauh di luar pusat beban, maka dibutuhkan tegangan tinggi (TT)

atau tegangan ekstra tinggi (TET) agar pasokan tenaga listrik, terutama tegangan dan frekuensi tetap stabil. Ketiga, adanya saluran distribusi, yang biasanya terdiri atas saluran distribusi primer dengan tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dengan tegangan rendah (TR). Keempat, adanya unsur pemakaian atas utilisasi yang terdiri atas instalasi pemakaian tenaga listrik. Instalasi rumah tangga biasanya memakai tegangan rendah, sedangkan pemakai besar seperti industri mempergunakan tegangan menengah atau tegangan tinggi. (*Candra Heri Saputro, 2019*).

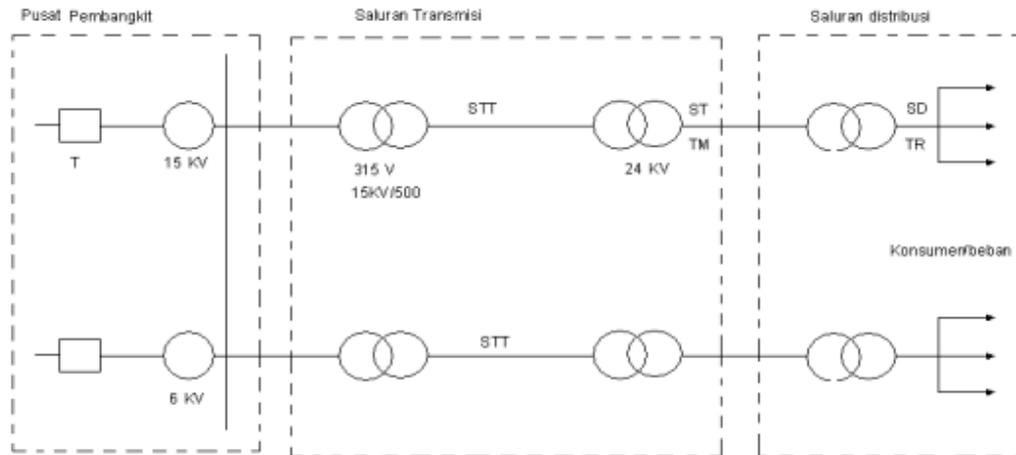
2.1.2 Bagan Sistem Tenaga Listrik

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 (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

Rangkaian sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 1 Sistem Tenaga Listrik (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)



Gambar 2 Diagram garis Tunggal Sistem Tenaga Listrik (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)

2.2 Sistem Distribusi

2.2.1 Defenisi 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.

Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, sebagai berikut:

- a. Gardu Induk (GI)
- b. Saluran Tegangan Menengah (TM)/Distribusi Primer
- c. Gardu Distribusi (GD)
- d. Saluran Tegangan Rendah (TR)/Distribusi Sekunder (*Candra Heri Saputro, 2019*).

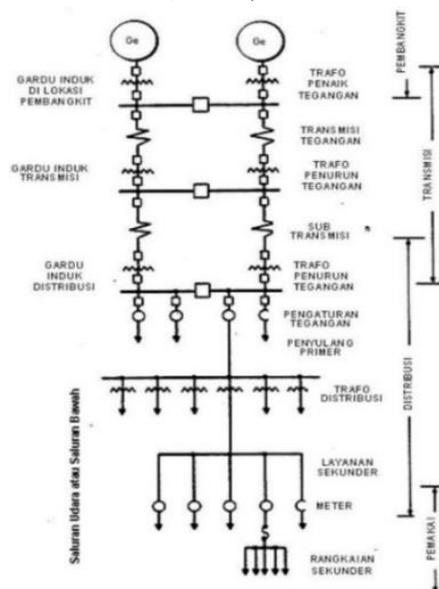
Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV akan disalurkan ke gardu induk (GI) untuk dinaikkan tegangannya dengan transformator daya (penaik tegangan) menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Adapun tujuan dinaikkannya tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah

sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, kemudian tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV 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 220/380 Volt.

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 mahalnya harga perlengkapan-perlengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan *transformator step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Hasanuddin dan Fadli, 2019).



Gambar 3 Pengelompokan Sistem Distribusi Tenaga Listrik (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

Sistem pendistribusian tenaga listrik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem pendistribusian langsung dan sistem pendistribusian tak langsung.

1. Sistem Pendistribusian Langsung

Sistem pendistribusian langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dihasilkan secara langsung dari pusat pembangkit tenaga listrik, dan tidak melalui jaringan transmisi terlebih dahulu. Sistem pendistribusian langsung ini digunakan jika pusat pembangkit tenaga listrik berada tidak jauh dari pusat-pusat beban, biasanya terletak daerah pelayanan beban atau dipinggiran kota.

2. Sistem Pendistribusian Tak Langsung

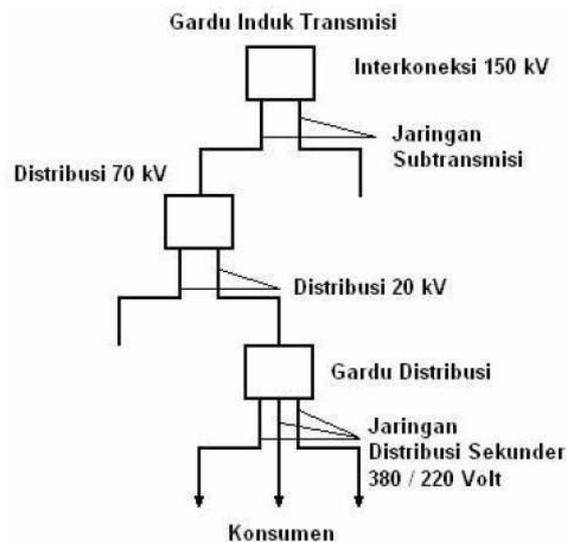
Sistem pendistribusian tak langsung merupakan sistem penyaluran tenaga listrik yang dilakukan jika pusat pembangkit tenaga listrik jauh dari pusat-pusat beban, sehingga untuk penyaluran tenaga listrik memerlukan jaringan transmisi sebagai jaringan perantara sebelum dihubungkan dengan jaringan distribusi yang langsung menyalurkan tenaga listrik ke konsumen (*Daman Suswanto, 2009*).

2.2.2 Konfigurasi Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk subtransmisi 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 20 kV menjadi 380/220 Volt, 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

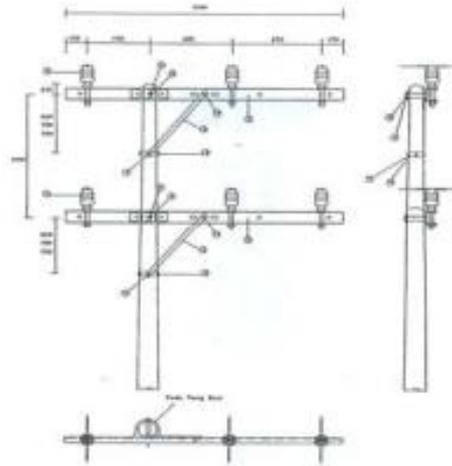
kita lihat gambar dibawah proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen (Hasanuddin dan Fadli, 2019).



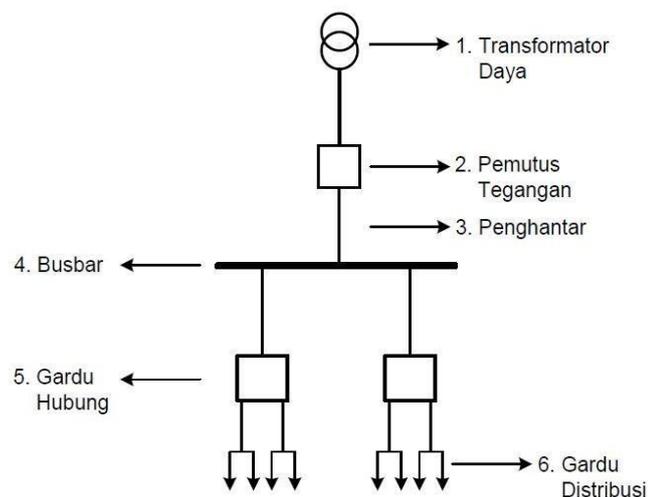
Gambar 4 Diagram Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

2.2.2.1 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. Sistem jaringan distribusi primer sering juga disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen (Daman Suswanto, 2009). Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6 kV, 10 kV, dan 20 kV (sesuai standar PLN). Sedangkan di Amerika Serikat standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 2,4 kV, 4,16 kV, dan 13,8 kV (Syufrijal dan Readysal Monantun, 2014). Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplay tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum (Hasanuddin dan Fadli, 2019).



Gambar 5 Jaringan Distribusi Primer 20 kV (Daman Suswanto, 2009)



Gambar 6 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pengaman yaitu pemutus daya
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung daya.
4. Busbar, berfungsi sebagai titik pertemuan / hubungan antara trafo daya dengan peralatan lainnya
5. Gardu hubung, berfungsi menyalurkan daya ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.

6. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

2.2.2.2 Jaringan distribusi primer menurut susunan rangkaiannya

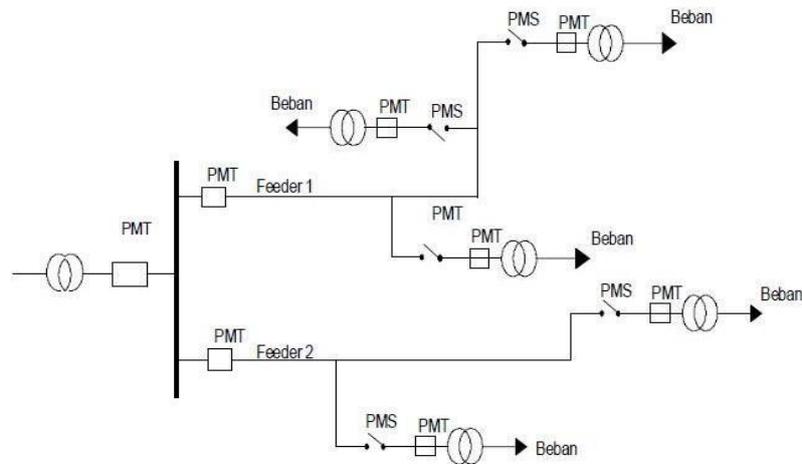
Jaringan pada sistem distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu jaringan radial, jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), jaringan lingkaran (*Loop*), jaringan spindel dan sistem gugus atau kluster.

1. Jaringan Radial

Sistem jaringan radial merupakan suatu sistem jaringan distribusi yang mana sumber tenaga yang disalurkan berasal dari satu titik, dan juga sistem saluran ini terdapat percabangan-percabangan yang menyebabkan arus beban yang mengalir dalam suatu saluran atau feeder dalam penyulang tersebut tidak rata dan juga luas penampang konduktor ukurannya pun tidak sama dikarenakan arus yang mengalir paling besar berada paling dekat dengan sumber atau gardu induk sedangkan untuk titik beban yang berada di ujung saluran semakin kecil.

Kekurangan dan kelebihan dari sistem jaringan dsitribusi radial ini sebagai berikut

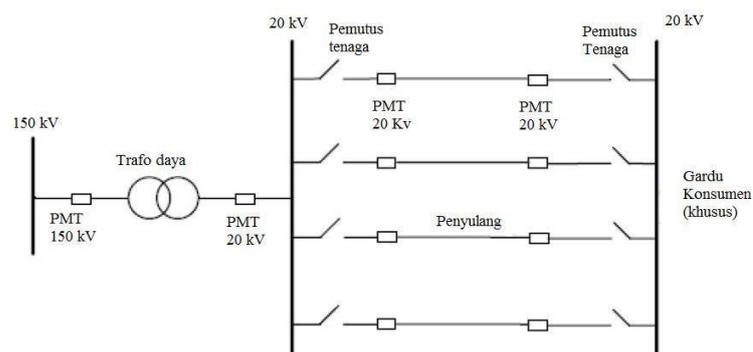
- a) Keuntungan sistem radial :
 1. Pola bentuknya sederhana
 2. Biaya investasi tergolong ekonomis
- b) Kelemahan sistem radial :
 1. Dilihat dari segi keandalan tergolong rendah
 2. Ketika terjadi gangguan akan trip satu penyulang
 3. Rugi tegangan terjadi di ujung saluran (*Arief Kurniawan, 2021*)



Gambar 7 Skema Saluran Sistem Radial (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

2. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Sistem distribusi *tie line* digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam seperti Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain. Pada sistem *tie line* yang digunakan dengan sekurangnya dua feeder yang ditambahkan dengan Automatic transfer switch, kemudian untuk penyulang yang tersambung ke gardu konsumen penting agar jika salah satu feeder mengalami gangguan, maka penyulang lain akan menyuplai tenaga listrik tersebut (Muh. Fajri Mustari, 2021).



Gambar 8 Skema Saluran Sistem *Tie Line* (Muh. Fajri Mustari, 2021)

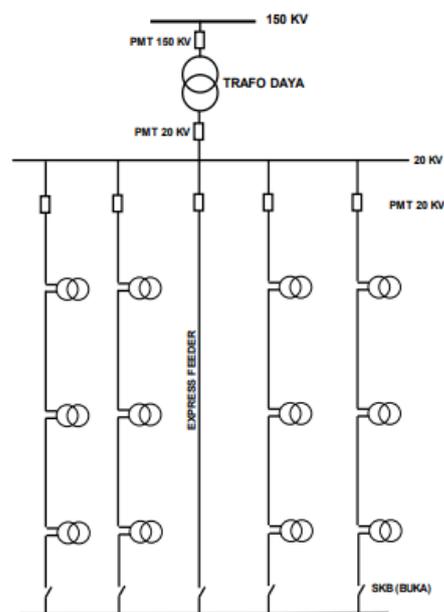
3. Jaringan Loop

Sistem *Loop* sering digunakan untuk mensuplai beban dengan kerapatan beban yang cukup besra. Untuk memperoleh tingkat keandalan yang cukup tinggi maka dari distribusi substation digunakan sistem *loop*. Rangkaian primer tersebut

2. Dalam keadaan normal saluran ekspres tidak dibebani dan dihubungkan dengan rel di gardu hubung dan digunakan sebagai pemasok cadangan dari gardu hubung.
3. Bila salah satu seksi dari SKTM mengalami gangguan, maka saklar beban di kedua ujung seksi yang terganggu dibuka. Kemudian sisi gardu induk (GI) mendapat suplai dari GI, dan gardu hubung mendapat supply dari gardu hubung melalui saluran ekspres.

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

1. Peningkatan keandalan / kontinuitas pelayanan sistem.
2. Menurunkan atau menekan rugi – rugi akibat gangguan.
3. Sangat baik untuk men-supply daerah beban yang memiliki kerapatan beban yang cukup tinggi.
4. Perluasan jaringan mudah dilakukan (Syufrijal Readysal Monantun, 2014).



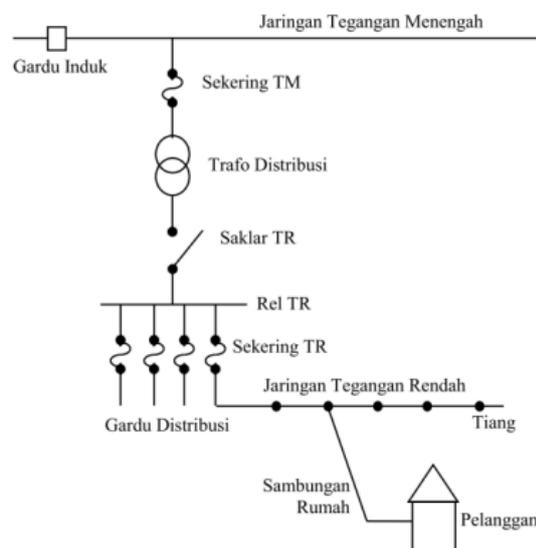
Gambar 10 Skema Saluran Sistem Spindel (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)

2.2.2.3. Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 3 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai

akhir atau konsumen.

Sistem jaringan distribusi sekunder atau sering disebut jaringan tegangan rendah (JTR), Jaringan Distribusi Tegangan Rendah adalah bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik. Melalui jaringan distribusi ini disalurkan tenaga listrik kepada para konsumen atau pelanggan listrik. Jaringan tegangan rendah berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Distribusi ke konsumen tegangan rendah. Tegangan rendah yang digunakan PT. PLN (Persero) adalah 127/220 V dan 220/380 V (Dasman dan Huria Handayani, 2017).



Gambar 11 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen (Syufrijal Readysal Monantun, 2014)

Sistem distribusi sekunder memiliki tegangan yang lebih rendah dibanding pada sisi primer yang 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. dari sumber daya (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 (Hasanuddin dan Fadli, 2019).

Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan tegangan rendah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

- 1) Saluran udara tegangan rendah (SUTR), jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
- 2) Saluran kabel udara tegangan rendah (SKUTR), jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Ukuran kabel LVTC adalah : $2 \times 10 \text{mm}^2$, $2 \times 16 \text{mm}^2$, $4 \times 25 \text{mm}^2$, $3 \times 35 \text{mm}^2$, $3 \times 50 \text{mm}^2$, $3 \times 70 \text{mm}^2$ (Agung Syahputra, 2021).

Menurut SPLN No.3 Tahun 1978, 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) (SPLN 3:1978).

2.3 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

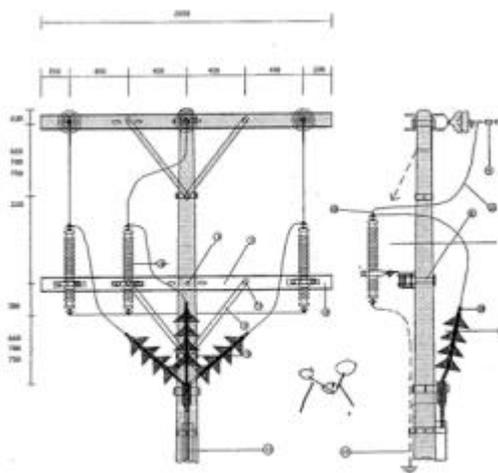
Saluran udara tegangan menengah adalah jaringan yang dikhususkan untuk menghubungkan antara GI (Gardu Induk) atau GH (Gardu Hubung) ke pusat-pusat beban (trafo TR) untuk menyalurkan tenaga listrik dengan tegangan 20kV. Saluran udara tegangan menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran 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 yang ditopang dengan isolator pada tiang/beton (Hasanuddin dan Fadli, 2019).

Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan factor yang terkait dengan keselamatan ketenaga listrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan saluran udara tegangan menengah (SUTM) adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*). Penggunaan penghantar ini tidak

menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya Akibat sentuhan pohon (*Agung Syahputra, 2021*).

Jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara ini, terutama untuk distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara radial, dengan jangkauan luas, biaya murah, dengan keandalan kontinuitas penyaluran minimal tingkat-2. Untuk mengurangi luasnya dampak pemadaman akibat gangguan dipasang fasilitas- fasilitas Pole Top Switch / Air Break Switch, PBO, SSO, FCO pada posisi tertentu. Pemakaian Saluran Udara sebagai sistem distribusi daerah perkotaan dapat dilakukan dengan memperpendek panjang saluran dan didesain menjadi struktur “radial open loop”.

Pemakaian penghantar berisolasi guna mengurangi akibat gangguan tidak menetap dan pemasangan kawat petir dapat meningkatkan tingkat kontinuitas penyaluran. Untuk perencanaan di suatu daerah baru, pemilihan PBO, SSO, FCO merupakan satu kesatuan yang memperhatikan koordinasi proteksi dan optimasi operasi distribusi dan sistem pembumian transformator Gardu Induk pada jaringan tersebut. Pada penyulang utama sistem radial, disisi pangkal harus dipasang PBO dengan setiap percabangan dipasang pemutus FCO khusus untuk sistem dengan pembumian langsung. Untuk sistem pembumian dengan tahanan tidak direkomendasikan penggunaan FCO. Pada sistem jaringan tertutup (loop) dengan instalasi gardu phi-section, seluruh pemutus menggunakan SSO (*PT. PLN (Persero), 2010*).



Gambar 12 Konstruksi Saluran Udara Tegangan Menengah (Daman Suswanto, 2009)

2.3.1 Komponen Utama Konstruksi SUTM

a. Penghantar

1) Penghantar telanjang (*BC: Bare Conductor*)

Konduktor dengan bahan utama tembaga (Cu) atau aluminium (Al) yang dipilin bulat padat, sesuai SPLN No. 10 Tahun 42-1986 dan SPLN No. 74 Tahun 1987. Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

2) Penghantar berisolasi Setengah AAAC-S (*halfinsu lated single core*)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (cross link poly etilene langsung), dengan batas tegangan 6 Kv dan harus memenuhi SPLN No. 43-5-6 Tahun 1995.

3) Penghantar Berisolasi Penuh (*Three single core*)

XLPE dan berselubung PVC berpendingantung penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV. Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN No.5-2 Tahun 1999 Kabel (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

b. Isolator

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/travers dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah:

1) Isolator Tumpu

Tabel 1 Jenis-jenis isolator tumpu

Pin – Isolator	Pin - Post isolator	Line - Pos tisolator
		

(sumber: Hasanuddin dan Fadli, 2019)

2) Isolator Tarik

Tabel 2 Jenis-jenis isolator tarik

Piring	Long-Rod	Keterangan
		Material dasar isolator Long-Rod dapat berupa keramik atau gelas atau polimer

(Sumber : Hasanuddin dan Fadli,

c. Peralatan Hubung (*Switching*)

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudah anoperasional harus dipasang Pemutus Beban (*Load Break Switch:LBS*), selain LBS dapat juga dipasangkan *Fused Cut-Out (FCO)*.



Gambar 13 Contoh Letak Pemasangan *Fused Cut Out (FCO)* dan *Load Break Switch (LBS)* (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

d. Tiang

1) Tiang Kayu

SPLN No. 115 Tahun 1995 berisikan tentang “Tiang Kayu” untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT.PLN Persero bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar penghantar SUTM (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

Tiang kayu banyak digunakan sebagai penyangga jaringan karena konstruksinya yang sederhana dan biaya investasi lebih murah bila dibandingkan dengan tiang jenis yang lain. Tiang kayu merupakan penyekat (isolator) yang paling baik sebagai penompang saluran udara terhadap gangguan hubung singkat. Jenis kayu yang digunakan sebagai tiang di Indonesia :

- a. Ulin (*Eusidiraxylon Zwageri*),
- b. Jati (*Tectona Grandis*),
- c. Rasamala (*Altaghia Exelsa Novanla*) (*Syufrijal dan readysal Monantun, 2014*).

2) Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bila mana total biaya material dan transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat di wilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

3) Tiang Beton

a) Beton Bertulang

Tiang beton bertulang lebih mahal dari pada tiang kayu tetapi lebih murah dari pada tiang baja bulat. Tiang ini banyak digunakan untuk

mendistribusikan tenaga listrik di daerah pedesaan dan daerah terpencil atau di tempat-tempat yang sulit dicapai. Karena tiang beton bertulang dapat dibuat di tempat tiang tersebut akan didirikan. Tiang beton bertulang juga dipilih jika dikehendaki adanya sisi dekoratif.

b) Beton Pratekan

Tiang beton pratekan lebih mahal dari tiang beton bertulang. Pemasangannya lebih sulit dibandingkan dengan tiang kayu karena sangat berat. Tiang beton bertulang memiliki umur yang sangat panjang dengan perawatan yang sangat sederhana. Tiang jenis ini tidak perlu di cat untuk pengawetannya, karena tidak akan berkarat. Kelemahan jenis tiang ini cenderung hancur jika terlanggar oleh kendaraan.

4) Tiang Baja

Tiang baja yang digunakan berupa pipa-pipa baja bulat yang disambung dengan diameter yang berbeda dari pangkal hingga ujungnya. Pada umumnya ukuran penampang bagian pangkal lebih besar dari ukuran penampang bagian atasnya (ujung). Tiang baja bulat sangat banyak digunakan untuk penopang jaringan listrik SUTM dan SUTR (*Syufrijal dan readysal Monantun, 2014*).

2.3.2 Ruang Bebas (*Right Of Way*) dan Jarak Aman (*Safety Distance*) Konstruksi SUTM

Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif/fase dari jarringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektro magnetis yang tidak memberkan pengaruh membahayakan. Secara rinci Jarak aman jaringan terhadap bangunan lain dapat dilihat pada Table 3.

Khusus terhadap jaringan telekomunikasi, jarak aman minimal adalah 1m baik vertical atau horizontal. Bila dibawah JTM terdapat JTR, jarak minimal antara JTM dengan kabel JTR dibawahnya minimal 120 cm (*Agung Syahputra, 2021*).

Tabel 3 Jarak aman SUTM

No.	Uraian	JarakAman
1.	Terhadap permukaan jalanraya	≥ 6 meter
2.	Balkonrumah	$\geq 2,5$ meter
3.	Ataprumah	≥ 2 meter
4.	Dinding Bangunan	$\geq 2,5$ meter
5.	Antena TV/radio, menara	$\geq 2,5$ meter
6.	Pohon	$\geq 2,5$ meter
7.	Lintasan kereta api	≥ 2 meter dari atap kereta
8.	Underbuilt TM–TM	≥ 1 meter
9.	Underbuilt TM–TR	≥ 1 meter

Sumber : Hasanuddin dan Fadli (2019).

2.3.3 Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah

Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya relai pengaman penyulang untuk membuka pemutus tenaga (circuit breaker) di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplai tenaga listrik. Gangguan pada jaringan distribusi lebih banyak terjadi pada saluran udara (SUTM) yang umumnya tidak memakai isolasi dibanding dengan saluran distribusi yang ditanam dalam tanah (SKTM) dengan menggunakan isolasi pembungkus. Menurut Stevenson (1990 : 316) dalam *Candra Heri Saputro (2019)*, gangguan adalah keadaan sistem yang tidak normal sehingga rangkaian mengalami hubung singkat dan juga rangkaian terbuka (open circuit). Kondisi gangguan pada sistem jaringan distribusi primer tegangan menengah 20 KV dapat dibedakan berdasarkan penyebabnya, yaitu:

- a. Penyebab dari faktor luar
- b. Penyebab dari faktor dalam

gangguan dapat terjadi setiap saat dengan berbagai macam sebab yang dapat mengakibatkan rusaknya peralatan, terganggunya kontinuitas penyaluran listrik pada konsumen, dan timbulnya bahaya keselamatan manusia dan lingkungan.

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam maupun dari luar sistem jaringan. Gangguan yang berasal dari dalam terutama disebabkan oleh perubahan sifat hambatan yang ada, misalnya isolator yang retak karena faktor umur, sedangkan gangguan dari luar biasanya berupa gejala alam antara lain petir, burung, pohon, debu, hujan, dan sebagainya (*Candra Heri Saputro, 2019*).

Setiap kesalahan pada suatu rangkaian yang menyebabkan terjadinya gangguan aliran arus yang normal disebut gangguan. Gangguan yang terjadi pada system tenaga listrikan sudah menjadi bagian dari pengoperasian tenaga listrikan tersebut. Mulai dari sumber alam, pembangkit, transmisi, distribusi, hingga pusat-pusat beban tidak pernah lepas dari berbagai macam gangguan. Suatu bagian esensial dalam desain jaringan supply daya memerlukan pemikiran agar meminimalkan gangguan.

Bagian dari sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan adalah kawat transmisinya. Hal tersebut wajar terjadi karena luas dan panjangnya saluran dari pembangkit hingga distribusi pada umumnya lewat udara (diatas tanah) lebih rentan terhadap gangguan dari pada yang dikonstruksikan didalam tanah (underground). Terlebih lagi jika salurannya tidak dilindungi isolasi ataupun peralatan proteksi yang tidak memadai, akan sering menimbulkan gangguan pada system tenaga listrik tersebut. Semua gangguan biasa disebabkan dari peralatannya atau kesalahan mekanis, thermis, dan tegangan lebih atau karena material yang cacat atau rusak, misalnya hubung singkat, gangguan ketanah atau konduktor yang putus. Busur tanah yang menetap merupakan gangguan yang sangat ditakuti sebab busur tanah yang padam dan menyala merupakan sumber gelombang yang berjalan yang mempunyai muka curam yang dapat membahayakan isolasi dari alat-alat instalasi walaupun letaknya jauh dari titik gangguan. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Besar dari hubung singkat itu tergantung dari jenis dan sifat gangguan hubung singkat itu, kapasitas dari sumber daya, konfigurasi dari sistem, metode hubungan netral dari trafo, jarak gangguan dari unit pembangkit, angka pengenal dari peralatan- peralatan utama dan alat-alat pembatas arus, lamanya hubung singkat itu dan respon time dari alat-alat pengaman.

Gangguan hubung singkat itu tidak hanya dapat merusak peralatan atau terdapat elemen-elemen sirkuit, tetapi juga dapat menyebabkan jatuhnya tegangan dan frekuensi sistem, sehingga kerja paralel dari unit-unit pembaangkit menjadi terganggu juga. Gangguan permanen seperti: hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, dan tembusnya isolasi, sedangkan gangguan temporer disebabkan karena adanya sambaran petir, flashover dengan pohon, tertiuip angin (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

Penyebab terjadinya gangguan pada jaringan distribusi dapat berasal dari dalam maupun dari luar sistem jaringan. Gangguan yang berasal dari dalam terutama disebabkan oleh perubahan sifat hambatan yang ada, misalnya isolator yang retak karena faktor umur, sedangkan gangguan dari luar biasanya berupa gejala alam antara lain petir, burung, pohon, debu, hujan, dan sebagainya (*Sulasno, 2001*).

2.3.4 Penyebab-penyebab gangguan SUTM

2.3.4.1 Penyebab dari faktor dalam

1. Gangguan Beban Lebih (Over Load)

Beban lebih kurang tepat apabila disebut gangguan, namun karena beban lebih adalah suatu keadaan abnormal yang apabila dibiarkan terus berlangsung dapat membahayakan peralatan, maka beban lebih harus ikut ditinjau. Karena arus yang mengalir melebihi kapasitas peralatan listrik dan kapasitas pengaman yang terpasang melebihi kapasitas peralatan, sehingga saat beban lebih, pengaman tidak trip (*Sarimun Wahyudi, 2011*). Beban lebih dapat mengakibatkan pemanasan yang berlebihan yang selanjutnya dapat mempercepat proses penuaan atau memperpendek umur peralatan. (*Setiawan, 2018*).

2. Gangguan Tegangan Lebih

Tegangan lebih dapat dibedakan sebagai berikut:

- a) Tegangan lebih dengan power frekuensi terjadi karena kehilangan beban atau penurunan beban jaringan akibat gangguan atau manuver.

- b) Tegangan lebih transien karena surja petir dan surja hubung. (*Setiawan, 2003*)

Sambaran petir mengandung tegangan dan arus yang sangat tinggi sehingga dapat menembus dielektrik isolasi udara, sedangkan porselin pada saluran udara berkurang kekuatannya karena kotor atau retak oleh gaya mekanik. Pada kenyataan ini menurunnya hambatan isolasi menyebabkan arus kecil mengalir yang akan mempercepat ionisasi sehingga arus semakin besar dengan cepat sampai terjadi loncatan bunga api (flash over) (*Sulasno, 2001*). Penelitian menunjukkan bahwa petir merupakan penyebab sekitar sepertiga dari semua kerusakan pada tegangan tinggi dan sistem distribusi. (*Pabla, 1991*)

3. Gangguan Kestabilan

Lepasnya pembangkit dapat menimbulkan ayunan daya (power swing) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron. Ayunan juga dapat menyebabkan salah kerja relai. Lepas sinkron dapat menyebabkan berkurangnya pembangkit, karena pembangkit yang besar jatuh (trip) dari cadangan putar (spinning reserve), maka frekuensi akan terus turun atau bisa terjadi terpisahnya sistem yang dapat menyebabkan gangguan yang lebih luas, bahkan terjadi keruntuhan sistem (collapse) (*Sarimun Wahyudi, 2011*)

4. Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat dapat terjadi antar fasa atau fasa dengan tanah dan dapat bersifat temporer/semesta atau permanen. Gangguan yang bersifat temporer dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan yang bersifat permanen untuk membebaskannya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab tersebut. (*Setiawan, 2003*). Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan kerusakan pada rangkain listrik terutama jaringan distribusi, peralatan, pengaman, transformator, dan sebagainya. (*Sulasno, 2001*).

Berdasarkan lama terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem distribusi dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a) Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya). Namun perlu diingat bahwa gangguan temporer yang terjadi berulang kali dapat berakibat timbulnya kerusakan pada peralatan. (*Achmad Fatoni, 2016*)

b) Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki). Contoh lain yaitu karena ada sesuatu yang mengganggu secara permanen, misalnya ada dahan yang menimpa kawat fasa dari saluran udara dan dahan ini perlu diambil terlebih dulu agar sistem dapat berfungsi kembali secara normal. (*Achmad Fatoni, 2016*)

Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut:

a) Gangguan Asimetris

Gangguan asimetris merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini terdiri dari:

- 1) Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
- 2) Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
- 3) Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

b) Gangguan Simetris

Gangguan simetris merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya (3 fasa) sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi.

2.3.4.2 Penyebab dari faktor luar

a) Pohon

Gangguan yang disebabkan oleh adanya bagian dari pohon yang mengenai jaringan SUTM, seperti penghantar SUTM yang mengakibatkan terjadinya hubung singkat antar fasa pada penghantar SUTM. Sehingga dapat menimbulkan gangguan yang dapat berakibat padamnya aliran listrik pada jaringan tersebut. (Hasanuddin dan Fadli, 2019)



Gambar 14 Contoh gangguan yang disebabkan oleh pohon (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

b) Layang-layang

Penyebab gangguan ini dikarenakan adanya layang-layang yang mengenai bagian yang bertegangan pada jaringan SUTM. Kemungkinan juga disebabkan oleh adanya benang layang-layang yang tersangkut pada jaringan sehingga antara penghantar satu dengan yang lainnya terhubung. (Hasanuddin dan Fadli, 2019)



Gambar 15 Contoh gangguan yang disebabkan oleh layang-layang (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

c) Sesaat

Gangguan ini dapat terjadi meliputi keadaan-keadaan sebagai berikut:

- 1) Ketika Pemutus Tenaga (PMT) pada suatu penyulang Gardu Induk (GI) mengalami trip, kemudian operator GI akan mencoba memberi tegangan pada penyulang tersebut, ternyata kondisi jaringan aman sehingga penyulang dapat beroperasi kembali. Hal seperti ini mengakibatkan penyebab gangguan tidak diketahui (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).
- 2) Ketika Pemutus Tenaga (PMT) pada suatu penyulang di Gardu Induk (GI) mengalami trip, kemudian operator GI akan memberikan tegangan pada penyulang tersebut, tetapi proses ini gagal. Setelah itu petugas PT.PLN (Persero) akan menelusuri jaringan untuk mencari lokasi/titik gangguan. Setelah ditelusuri ternyata gangguan tidak ditemukan. Berdasarkan tugas akhir ini, operator GI akan mencoba memberikan tegangan pada penyulang yang terganggu tadi untuk ke-dua kalinya dan berhasil. Hal seperti ini mengakibatkan penyebab gangguan tidak diketahui (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*).

d) Pihak ke-3

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kegiatan/perbuatan masyarakat yang menyebabkan terganggunya jaringan SUTM. (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*)



Gambar 16 Contoh gangguan yang disebabkan oleh pihak ke-3 (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*)

e) Binatang

Gangguan yang disebabkan oleh adanya binatang yang mengenai bagian penghantar yang bertegangan pada jaringan SUTM seperti kelelawar atau musang. (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*)



Gambar 17 Contoh gangguan yang disebabkan oleh binatang (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

f) Komponen JTM

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada bahan-bahan listrik yang digunakan pada jaringan tegangan menengah, seperti putusnya kawat penghantar, rusaknya Fusecutout, arrester, isolator pecah dan sebagainya. (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*)



Gambar 18 Gangguan yang disebabkan komponen JTM (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

g) Gardu

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada komponen komponen gardu seperti trafo, obstijk kabel, NHFuse, dan sebagainya. (Hasanuddin dan Fadli, 2019)



Gambar 19 Contoh gangguan yang disebabkan oleh gardu (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

h) Tiang

Gangguan yang disebabkan oleh adanya kejanggalan pada tiang seperti tiang miring dan roboh yang diakibatkan oleh beberapa factor seperti longsor tertimpa benda lain, kondisi tanah dan lain-lain. Kondisi Tiang yang telah bergeser dari tempat yang sebenarnya ini dapat mengganggu jaringan listrik disekitarnya, seperti berkurangnya andongan penghantar yang disebabkan oleh tarikan dari tiang yang miring. Bahkan bisa menyebabkan bagian tersebut putus. (Hasanuddin dan Fadli, 2019)



Gambar 20 Contoh gangguan yang disebabkan tiang (Hasanuddin dan Fadli, 2019)

2.3.5 Akibat-akibat yang timbul oleh gangguan

- a. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan keluarnya suatu unit pembangkit.
- b. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga
- c. listrik dan merintanginya kerja normal dan peralatan listrik baik PLN maupun konsumen.
- d. Penurunan stabilitas system
- e. Merusak peralatan di daerah yang terjadi gangguan. (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*)

2.4 Keandalan Sistem Distribusi

Layanan listrik terus menerus untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pelanggan sesuai permintaan, meliputi keselamatan personel dan peralatan. Di sisi lain, layanan listrik berkualitas melibatkan pemenuhan permintaan pelanggan dalam batas tegangan dan frekuensi yang ditentukan. Untuk mempertahankan layanan yang dapat diandalkan kepada pelanggan, utilitas harus memiliki redundansi yang memadai dalam sistemnya untuk mencegah pemadaman komponen menjadi gangguan layanan kepada pelanggan. (*Turan Gonen, 1986*). Oleh sebab itu keandalan suatu sistem tenaga listrik sangat penting terkhusus pada sistem distribusi. penerapan konsep keandalan untuk sistem distribusi berbeda dari keandalan sistem pembangkitan dan transmisi karena lebih berorientasi pada titik beban pelanggan dari pada berorientasi pada sistem, dan sistem distribusi lokal lebih dipertimbangkan daripada keseluruhan sistem terintegrasi yang melibatkan fasilitas pembangkit dan transmisi. (*Chowdhury dan Koval, 2009*)

Statistik kegagalan pelanggan menunjukkan bahwa sistem distribusi tegangan menengah memberikan kontribusi individu terbesar pada tidak tersedianya pasokan untuk pelanggan. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan, penekanan investasi harus pada jaringan distribusi. Upaya yang cukup besar telah dicurahkan untuk pengurangan energi yang tidak

tersedia di jaringan distribusi (*Alan dan Bilinton 1996*). Metode berikut ini digunakan untuk peningkatan keandalan sistem distribusi:

- a) Pengurangan panjang jalur dengan penambahan gardu induk baru
- b) Penggantian saluran udara biasa dengan saluran terisolasi atau kabel bawah tanah
- c) Pembagian jaringan otomatis
- d) Konfigurasi ulang jaringan otomatis, untuk menyediakan kemampuan suplai alternatif. (*David Elmakias, 2008*)

Metode pertama dan kedua mengurangi jumlah total kegagalan dalam jaringan sedangkan metode ketiga dan keempat membantu mengurangi energi yang tidak tersedia yang disebabkan oleh kegagalan. Pemotongan dan konfigurasi ulang otomatis adalah metode yang paling efisien untuk mengurangi energi yang tidak tersuplai. (*David Elmakias, 2008*)

Indeks adalah suatu nilai atau angka yang dibuat dan diproses sedemikian rupa berdasarkan data-data yang telah ada sebagai penunjang untuk dijadikan sebagai perbandingan suatu keandalan pada sistem atau peralatan.

2.4.1 Teori Indeks Keandalan

Indeks keandalan adalah suatu cara dalam mengevaluasi data-data keandalan yang ada pada peralatan sistem jaringan distribusi dengan keandalan mutu pelayanan kepada konsumen. Untuk mengetahui tingkat keandalan pada suatu sistem jaringan distribusi, maka diperlukannya pengecekan dengan cara melakukan suatu perhitungan dan menganalisa tingkat keberhasilan suatu sistem tersebut dengan tinjauan pada suatu periode waktu tertentu, yang kemudian membandingkannya dengan suatu standar yang sudah ditetapkan sebelumnya. Dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik terdapat beberapa indikator yang menjadi acuan dalam menentukan keandalan suatu sistem penyaluran tersebut yang diantaranya yaitu SAIDI dan SAIFI. Jadi untuk melihat seberapa andalnya suatu sistem penyaluran distribusi tenaga listrik dapat dilakukan dengan cara melihat besarnya nilai SAIDI dan SAIFI. (*Hasanuddin dan Fadli, 2019*). Standar perusahaan PT. PLN yang telah diresmikan yaitu SPLN yang bersifat wajib. Dalam standar SPLN berisi peraturan,

intruksi arahan dan spesifikasi teknik. Standar SPLN ini yang mana menetapkan tingkat keandalan sistem distribusi energi listrik. (Hanif Naufal, 2021). Standar ini dimaksud untuk menjelaskan dan menetapkan tingkat keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Tujuannya ialah untuk memberikan pegangan yang terarah dalam menilai penampilan dan menentukan tingkat keandalan dari sistem distribusi dan juga sebagai tolak ukur terhadap kemajuan atau menentukan proyeksi yang akan dicapai PT. PLN (Persero). (Nur Eggi Pratama, 2019)

Adapaun standar indeks sistem keandalan yang bersumber standar SPLN 68 - 2 : 1986 dan IEEE std 1366-2003

Tabel 4 Standar Nilai Indeks Keandalan SPLN 68-2:1986

INDEKS KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	3,2	Kegagalan/Pelanggan/tahun
SAIDI	21,09	Jam/Pelanggan/tahun

(Sumber : SPLN 68-2 : 1986)

Tabel 5 Standar Nilai Indeks Keandalan IEEE std 1366-2003

INDEKS KEANDALAN	STANDAR NILAI	SATUAN
SAIFI	1,45	Kegagalan/Pelanggan/tahun
SAIDI	2,30	Jam/Pelanggan/tahun
CAIDI	1,47	Jam/gangguan

(Sumber : Hendrayadi, dkk, 2019)

2.4.1.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Indeks)

SAIFI atau *System Average Interruption Frequency Indeks* adalah indeks rata-rata dari jumlah pemadaman dalam periode tertentu. Perhitungan SAIFI dapat dicari dengan cara mengalikan total frekuensi padam atau laju kegagalan feeder dengan jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman kemudian dibagi total pelanggan dalam satu unit. (Muh. Fajri Mustari, 2021)

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah konsumen yang mengalami gangguan}}{\text{jumlah dari konsumen yang dilayani}}$$

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{N} \quad (1)$$

Dimana :

λ_i = Laju kegagalan feeder/frekuensi padam

N_i = Jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman

N = Jumlah dari konsumen yang dilayani

2.4.1.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Indeks)

SAIDI atau *System Average Interruption Duration Indeks* adalah indeks keandalan dari jumlah lamanya pemadaman pada pelanggan dalam periode tertentu dengan jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman atau jumlah pelanggan pada feeder kemudian dibagi dengan jumlah seluruh pelanggan dalam satu unit dengan hasil jam/pelanggan atau menit/pelanggan.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah waktu gangguan dari semua konsumen}}{\text{jumlah dari konsumen yang dilayani}}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_i \cdot N_i}{N} \quad (2)$$

Dimana :

U_i = Waktu pemadaman dalam periode tertentu

N_i = Jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman

N = Jumlah dari konsumen yang dilayani (*Muh. Fajri Mustari, 2021*)

2.4.1.3 CAIFI (Consumer Average Interruption Frequency Indeks)

CAIFI merupakan indeks frekuensi padam rata-rata bagi konsumen yang terkena dampak padam tersebut. CAIFI adalah rata-rata kali gangguan bagi konsumen yang mengalami dampak gangguan pada selang waktu tertentu. Rumus CAIFI adalah sebagai berikut :

$$\text{CAIFI} = \frac{\text{jumlah gangguan pelanggan}}{\text{jumlah dari konsumen yang terkena dampak padam}}$$

$$\text{CAIFI} = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum U_i \cdot N} \quad (3)$$

Dimana:

λ_i = Frekuensi gangguan

N_i = Jumlah konsumen padam

N = Jumlah total konsumen yang dilayani

U_i = Waktu pemadaman dalam periode tertentu

2.4.1.4 CAIDI (Consumer Average Interruption Duration Indeks)

CAIDI merupakan indeks yang menginformasikan tentang durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi dalam periode tertentu

$$\text{CAIFI} = \frac{\text{Jumlah total durasi gangguan pelanggan}}{\text{Jumlah total gangguan pelanggan}}$$

$$\text{CAIFI} = \frac{\text{SAIDI}}{\text{SAIFI}} \quad (4)$$

2.5 PT. PLN (Persero) ULP Daya



Gambar 21 Gedung dan lokasi kantor PT. PLN (Persero) Daya

PLN (Persero) merupakan salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) bergerak dibidang kelistrikan. Tujuan utama PLN adalah memenuhi atau melayani kebutuhan masyarakat, dalam hal penerangan. Karena listrik merupakan kebutuhan untuk kelangsungan hidup manusia. PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Daya merupakan salah satu rayon yang tergabung dalam Area UP3 Makassar Utara. PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Daya merupakan salah satu perusahaan milik negara yang memberikan pelayanan secara langsung kepada calon pelanggan dan masyarakat dalam penyedia jasa yang berhubungan dengan penjualan tenaga listrik PLN di Kota Makassar. PLN unit layanan pelanggan Daya berada di bawah pengawasan PLN Makassar Utara bersama tiga unit layanan pelanggan lainnya yaitu Karebosi, Maros dan Pangkep.

2.5.1 Sistem Distribusi ULP Daya

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. Sistem distribusi di ULP Daya di

suplai oleh 7 GI, diantaranya :

1. GI Bolangi (150 kV)
2. GI Daya Baru (150 kV)
3. GI Daya
4. GI KIMA (150 kV)
5. GI Mandai (70 kV)
6. GI Tallo
7. GI Tallo Lama

Selain itu ULP Daya juga memiliki 26 penyulang. Penyulang adalah pengirim daya setelah melewati trafo daya dari gardu induk yang pada akhirnya langsung menyuplai ke konsumen. Adapun penyulang yang ada di ULP Daya berjumlah 26 penyulang, yaitu :

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Penyulang Aluminium | 13. Penyulang Poltek |
| 2. Penyulang Baddoka | 14. Penyulang Rider |
| 3. Penyulang Bontoa | 15. Penyulang Royal |
| 4. Penyulang BTP | 16. Penyulang Sanrangan |
| 5. Penyulang Effem | 17. Penyulang Sanmaru |
| 6. Penyulang Gombara | 18. Penyulang Salodong |
| 7. Penyulang Kapasa | 19. Penyulang Tamalanrea |
| 8. Penyulang KIMA | 20. Penyulang Tol |
| 9. Penyulang Lakkang | 21. Penyulang Ujung Pandang |
| 10. Penyulang Lapangan Golf | 22. Penyulang Unhas |
| 11. Penyulang Mtos | 23. Penyulang Pondok Sawah |
| 12. Penyulang Paccerrakkang | 24. Penyulang Wika |
| 13. Penyulang Pokphand | 25. Penyulang Workshop |

2.5.2 Konstruksi JTM

Saluran udara tegangan menengah (SUTM), merupakan saluran distribusi yang menyalurkan energi listrik melalui kawat-kawat penghantar yang telah dilapisi oleh isolator. Selain itu saluran udara tegangan menengah (SUTM) dengan kawat terbuka merupakan saluran yang paling rawan terhadap gangguan eksternal,

yaitu gangguan yang diakibatkan dari luar sistem.

Adapun pada ULP Daya ini memiliki sistem SUTM dengan kawat terbuka, kawat konduktor berisolasi dan saluran kabel bawah tanah. Hanya saja pada SUTM ULP Daya masih didominasi oleh SUTM dengan kawat terbuka