



**KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI JARINGAN
SUTM AKIBAT GANGGUAN POHON DI
PT. PLN (PERSERO) UP3 SEMARANG**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Candra Heri Saputro

NIM.5301415001

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

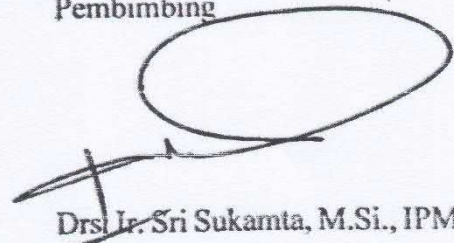
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Candra Heri Saputro
Nim : 5301415001
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM Akibat Gangguan Pohon Di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 31 Oktober 2019

Pembimbing



Dr. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM.

NIP. 196505081991031003

PENGESAHAN

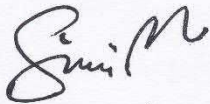
Skripsi dengan judul “Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM Akibat Gangguan Pohon di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang” telah dipertahankan didepan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 31 bulan Oktober tahun 2019.

Oleh

Nama : Candra Heri Saputro
Nim : 5301415001
Program Studi: Pendidikan Teknik Elektro

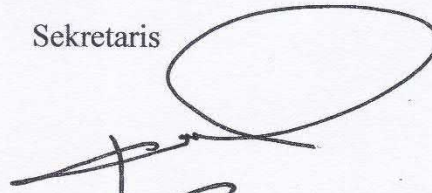
Panitia

Ketua



Ir. Ulfa Mediaty Arief, M.T. IPM
NIP. 196605051998022001

Sekretaris



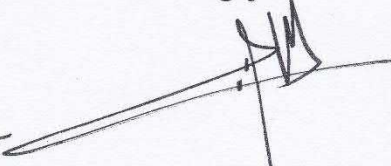
Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM
NIP. 196505081991031003

Penguji 1



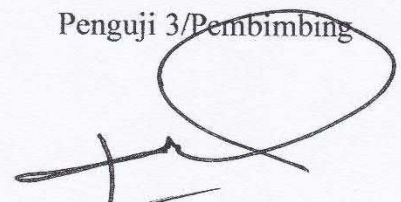
Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM
NIP. 195907051986011002

Penguji 2



Drs. Agus Suryanto, M.T
NIP. 196708181992031004

Penguji 3/Pembimbing



Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM
NIP. 196505081991031003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Drs. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

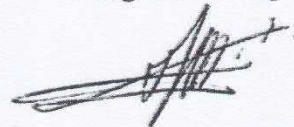
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam skripsi ini ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Semarang, 31 Oktober 2019

Yang membuat pernyataan,



Candra Heri Saputro

NIM. 5301415001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Belajar dari kegagalan dan keberhasilan orang lain sangat menentukan nasibmu kedepan.
- Mencoba hal baru tidak harus dengan modal niat tetapi nekat juga sesekali diperlukan

PERSEMBAHAN

- Kedua orang tua saya
- Adik saya Fitri Cahyandari
- Yang selalu memberikan semangat dan memberikan motivasi, Ika Tiara Kurniati
- Teman-teman PTE UNNES angkatan 2015

SARI

Candra, Heri Saputro. 5301415001. 2019. *Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM Akibat Gangguan Pohon di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang*. Skripsi, Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM.

Kualitas energi listrik yang diterima pelanggan dipengaruhi oleh sistem pendistribusiannya, diperlukan sistem distribusi tenaga listrik dengan keandalan yang baik. Suatu sistem distribusi tenaga listrik dapat dikatakan andal apabila gangguan dan pemadaman yang terjadi dalam periode waktu tertentu dibawah angka indeks keandalan yang ditetapkan. Ukuran keandalan suatu sistem dapat dinyatakan dengan menghitung SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) yaitu seberapa sering sistem mengalami pemadaman dan berapa lama pemadaman terjadi dalam rentang waktu tertentu yakni satu tahun. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa keandalan sistem distribusi tenaga listrik di PT. PLN UP3 Semarang.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian studi kasus. Langkah yang dilakukan oleh penulis yaitu dengan mengumpulkan data gangguan, data pemadaman, dan data pelanggan yang diperoleh di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang yaitu data untuk wilayah ULP Weleri dan Semarang Selatan, data-data tersebut akan dianalisis menggunakan rumus perhitungan indeks keandalan sistem SAIFI dan SAIDI

Hasil dari penelitian menunjukkan PT.PLN (Persero) ULP Weleri dengan gangguan SUTM akibat pohon memiliki nilai SAIFI 7,17 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI yakni 10,9 jam/pelanggan/tahun. PT.PLN (Persero) ULP Semarang Selatan memiliki nilai SAIFI 1,83 kali/pelanggan/tahun dan nilai SAIDI 1,45 jam/pelanggan/padam, karena hasil dari keandalan sistem menggunakan indeks SAIFI dan SAIDI dari kedua unit PLN weleri dan Semarang Selatan masih berada dalam kondisi normal, maka perlu dipertahankan untuk indeks keandalan tersebut atau lebih ditingkatkan lagi agar nilainya semakin baik dan handal.

Kata kunci: *distribusi; keandalan; SAIFI; SAIDI*.

PRAKATA

Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih sayang-Nya kepada kita, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan waktu, dengan judul “*Keandalan Sistem Distribusi Jaringan SUTM Akibat Gangguan Pohon di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan syafaat-Nya di yaumul akhir nanti. Amin.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis sampaikan rasa terimakasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Donny Adriansyah, S.T, selaku Manajer PT. PLN (Persero) UP3 Semarang beserta para Asisten Manajer dan staf, yang telah memberikan ijin dan membantu dalam pengambilan data-data yang dibutuhkan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Ir. Ulfa Mediaty Arief M.T. IPM, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.

5. Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM, selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dalam menyusun skripsi ini hingga selesai.
6. Drs. Ir. Henry Ananta, M. Pd.,IPM selaku penguji I dan Drs. Agus Suryanto, M.T selaku penguji II yang telah memberikan masukan, perbaikan, tanggapan sehingga menambah kualitas skripsi ini.
7. Kedua orangtua yang telah mendoakan, memberikan dukungan serta restunya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
8. Rekan seperjuangan yang telah memberikan dukungan dan motivasinya kepada penulis.
9. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan semuanya.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun bagi pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti pada khususnya dan bagi semua pihak yang berkepentingan pada umumnya.

Semarang, 31 Oktober 2019

Candra Heri Saputro

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
RINGKASAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	8
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Rumusan Masalah.....	9
1.5. Tujuan Penelitian.....	9
1.6. Manfaat Penelitian.....	10
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	11
2.1. Kajian Pustaka.....	11
2.2. Landasan Teori.....	13
2.2.1. Sistem Tenaga Listrik.....	13
2.2.2. Sistem Distribusi.....	14
2.2.3. Gangguan Jaringan SUTM.....	16
2.2.3.1. Gangguan Beban Lebih (<i>Over Load</i>).....	17
2.2.3.2. Gangguan Tegangan Lebih.....	18
2.2.3.3. Gangguan Kestabilan.....	18
2.2.3.4. Gangguan Hubung Singkat.....	19
2.2.3.4.1. Gangguan Hubung Singkat satu fasa ke tanah.....	20
2.2.3.4.2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.....	21
2.2.3.4.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	22
2.2.3.4.4. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	23
2.2.4. Gangguan SUTM Akibat Pohon.....	24
2.2.5. Keandalan Sistem Distribusi.....	28
2.2.5.1. SAIFI.....	29
2.2.5.2. SAIDI.....	30
2.2.5.3. Standarisasi Nilai SAIFI dan SAIDI.....	31

	Halaman
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	33
3.2. Desain Penelitian	33
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	36
3.4. Teknik Pengumpulan Data	36
3.5. Teknik Analisis Data	37
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Deskripsi Data	39
4.1.1 Gangguan SUTM PT. PLN (Persero) ULP Weleri dan Semarang Selatan	39
4.1.2 Padam Akibat Gangguan SUTM oleh Pohon PT.PLN (Persero) ULP Weleri dan ULP Semarang Selatan.....	44
4.2 Analisis Data.....	45
4.2.1 Hasil Analisis Nilai SAIFI SAIDI Gangguan Pohon.....	45
4.2.2 Perbandingan Indeks SAIDI SAIDI dengan Indeks PLN	50
4.3 Pembahasan	52
4.3.1 Keandalan ULP Weleri dan SMG Selatan Berdasarkan SAIFI Dan SAIDI Terhadap Gangguan Pohon	52
BAB V PENUTUP	56
5.1 Simpulan.....	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jarak Aman Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)	28
Tabel 2.2 Standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI.....	32
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	36
Tabel 4.1 Data Monitoring Gangguan PLN ULP Weleri 2017	42
Tabel 4.2 Data Monitoring Gangguan PLN ULP Semarang Selatan	43
Tabel 4.3 Gangguan SUTM Akibat Pohon ULP Weleri & Semarang Selatan.	44
Tabel 4.4 Indeks SAIFI & SAIDI Akibat Pohon ULP Weleri Th 2017	48
Tabel 4.5 Indeks SAIFI & SAIDI Akibat Pohon ULP Semarang Selatan 2.....	49
Tabel 4.6 Perbandingan Indeks SAIFI SAIDI dengan Indeks PLN Weleri.....	51
Tabel 4.7 Perbandingan Indeks SAIFI SAIDI dengan Indeks PLN SMG SL ..	52

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	16
Gambar 2.2 Gangguan Hubung Singkat Satu Fase ke Tanah	21
Gambar 2.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	22
Gambar 2.4 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah.....	23
Gambar 2.5 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.....	24
Gambar 2.6 Bahaya Pohon Atau Bangunan di Dekat Jaringan 20kV.....	25
Gambar 4.1 Grafik Gangguan SUTM ULP Weleri dan Semarang Selatan.....	40
Gambar 4.2 Grafik Penyebab SUTM ULP Weleri Tahun 2017	41
Gambar 4.3 Grafik Penyebab Gangguan SUTM ULP Semarang Selatan	42
Gambar 4.4 Grafik Gangguan SUTM Akibat Pohon ULP Weleri dan Semarang Selatan Tahun 2017	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Surat Usul Topik.....	61
Lampiran 2 Surat Usul Judul	62
Lampiran 3 Surat Tugas Pembimbing.....	63
Lampiran 4 Surat Tugas Penguji Seminar Proposal	64
Lampiran 5 Berita Acara Seminar Proposal Skripsi	65
Lampiran 6 Daftar Hadir Peserta Seminar Proposal Skripsi.....	66
Lampiran 7 Surat Ijin Observasi	67
Lampiran 8 Data Padam Akibat Gangguan Jaringan SUTM ULP Weleri Tahun 2017.....	68
Lampiran 9 Data Padam Akibat Gangguan Jaringan SUTM ULP Semarang Selatan Tahun 2017	73
Lampiran 10 Rekapitulasi Penyebab PMT 20 KV Trip Per Penyulang Per Rayon Tahun 2017 Area Semarang	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Selama ini energi listrik telah menjadi kebutuhan vital untuk menunjang kehidupan sehari-hari (Garg *et al.* 2018; Uddin *et al.* 2016). Konsumsi energi global meningkat karena populasi manusia yang terus bertambah (Abdelkader *et al.* 2010). Dalam 20 tahun terakhir, konsumsi energi dunia meningkat tajam sebesar 40% (Wang *et al.* 2018). Kini konsumsi energi listrik global mencapai 10 TWH dan diperkirakan akan mencapai 30 TWH pada tahun 2050 (Yilmaz *et al.* 2015). Meningkatnya kebutuhan masyarakat akan energi listrik maka PLN harus memperhatikan kualitas energi yang disalurkan dari pembangkit hingga sampai kepada konsumen.

Kualitas energi listrik menjadi poin penting dalam pendistribusian energi listrik karena energi listrik harus memenuhi persyaratan untuk sampai ke konsumen, diantaranya yaitu dapat memenuhi beban puncak, memiliki deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum, menjamin urutan fasa yang benar, menjamin distorsi gelombang tegangan dan harmonik yang minimum dan bebas dari surja tegangan, menjamin suplai tegangan dalam keadaan seimbang, dan memberikan suplai tenaga dengan keandalan yang tinggi. Energi listrik disalurkan ke masyarakat melalui jaringan distribusi, oleh sebab itu jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan masyarakat.

Jaringan distribusi dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 kV, 12 kV, 6 KV. Pada saat ini, tegangan distribusi primer yang cenderung dikembangkan oleh PLN adalah 20 kV. Tegangan pada jaringan distribusi primer, diturunkan oleh gardu distribusi melalui penyulang-penyulang menjadi tegangan rendah yang besarnya adalah 380/220 V, dan disalurkan kembali melalui jaringan tegangan rendah kepada konsumen.

Penyaluran energi listrik kepada konsumen tidak menutup kemungkinan akan terjadi gangguan, akibat yang ditimbulkan oleh gangguan pada suatu jaringan listrik ini bervariasi dari ketidaknyamanan hingga kerugian ekonomis yang cukup tinggi bahkan timbulnya korban jiwa, gangguan paling banyak terjadi dalam penyaluran energi listrik adalah pada jaringan distribusi. Gangguan pada sistem distribusi adalah terganggunya sistem tenaga listrik yang menyebabkan bekerjanya relay pengaman penyulang bekerja untuk membuka circuit breaker di gardu induk yang menyebabkan terputusnya suplay tenaga listrik (Dasman, 2017). Keandalan suatu jaringan distribusi mutlak diperlukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan pada suatu sistem tenaga listrik atau penyediaan listrik ini tidak dikehendaki, tetapi merupakan kenyataan yang tidak dapat dihindarkan (Marsudi, 2006). Suatu gangguan didalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan didalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya (Suswanto, 2009).

Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Menurut Heru Agus Surasa dari Universitas Sebelas Maret Surakarta menyatakan bahwa kejadian dasar yang menyebabkan kerusakan jaringan distribusi ada enam, yaitu gangguan alam, gangguan manusia, gangguan binatang, gangguan komponen, gangguan material, dan kesalahan instalasi jaringan. Sedangkan modus kerusakan jaringan distribusi listrik ada dua belas yaitu kerusakan tiang listrik, kabel listrik, penangkal petir, konektor, jumper, relay, isolator, transformator, saklar PMT dan PMS, pelebur, MCB, serta alat pembatas dan pengukur (Surasa, 2007).

Sumber gangguan terdiri atas dua faktor yaitu faktor *internal* dan faktor *eksternal*, gangguan *internal* disebabkan oleh perubahan sifat hambatan yang ada, misalnya isolator yang retak karena faktor umur, sedangkan gangguan dari luar berupa gejala alam antara lain petir, hewan, pohon, debu, hujan, dan sebagainya. (Sulasno, 2001 : 108). Gangguan dari faktor internal berupa kerusakan peralatan sangat mungkin terjadi disetiap penyulang pada jaringan distribusi, mengingat peralatan memiliki usia sehingga perlu adanya peremajaan.

Peningkatan mutu personil petugas PLN dan peremajaan alat serta pemeliharaan jaringan harus konsisten dilakukan oleh pihak PLN Agar pelayanan kepada pelanggan dalam hal menyalurkan listrik tidak terkendala dan tetap lancar tanpa adanya pemadaman (Nur, 2018). Gangguan ini memiliki frekuensi gangguan yang sedikit jika dibandingkan dengan jenis gangguan yang lain.. Sifat gangguannya adalah permanen apabila tidak dilakukan penggantian peralatan.

Gangguan dari faktor *eksternal* berupa gangguan hewan yang menempel pada kawat jaringan distribusi mengakibatkan arus hubung singkat, gangguan ini bersifat temporer dan jarang terjadi, hewan yang berpotensi menyebabkan gangguan adalah ular dan burung. Gangguan layang-layang banyak terjadi pada saat musim kemarau tiba, layang-layang dapat menyebabkan jaringan listrik padam apabila layangan mengenai jaringan distribusi tegangan tinggi, maka akan timbul gangguan hubung singkat (Isti, 2017). Gangguan akibat layang-layang ini bersifat temporer.

Gangguan *eksternal* lainnya yang sering terjadi di sepanjang jaringan SUTM (Saluran Udara Tegangan Tinggi) yaitu akibat pohon. Pohon yang menempel pada jaringan JTM mengakibatkan adanya arus gangguan hubung singkat, gangguan ini bersifat temporer dan dapat diamankan dengan sistem proteksi *recloser* yang membuat jaringan dapat menyalurkan kembali energi listrik. Berdasarkan studi yang telah dilakukan EPRI (Burke and Lawrence, 1984; EPRI 1209-1, 1983) pohon juga dapat menyebabkan gangguan satu fase ke tanah pada sistem tiga fase, tetapi gangguan fase-fase lebih sering terjadi.

Gangguan *eksternal* berupa petir merupakan gangguan yang tidak dapat diprediksi kapan terjadinya, Hanya untuk daerah di luar kota selain gangguan sentuhan pohon juga sering terjadi gangguan karena petir. Gangguan karena petir maupun karena sentuhan pohon ini sifatnya temporer (sementara), oleh karena itu penggunaan penutup balik otomatis (*recloser*) akan mengurangi waktu pemutusan penyediaan daya (*supply interrupting time*), gangguan ini terjadi hanya

saat musim hujan tiba dengan daerah jarang terdapat pohon tinggi. Gangguan petir cenderung menyebabkan gangguan dua atau tiga fase ke tanah pada sistem tiga fase.

Dari faktor-faktor tersebut yang paling berpotensi terjadi gangguan adalah dari faktor *eksternal* yaitu akibat pohon, seperti yang terjadi pada PT. PLN (Persero) ULP Weleri, Jawa Tengah. Menurut PT. PLN Udiklat Semarang (2017), Saluran udara tegangan menengah maupun tegangan rendah dengan kawat terbuka (SUTM dan SUTR telanjang) merupakan saluran yang paling rawan terhadap gangguan *eksternal*. Gangguan akibat pepohonan merupakan gangguan yang paling dominan terjadi pada jaringan distribusi SUTM (Triyono, 2018). Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon (Suswanto, 2008:116).

Pohon menjadi salah satu penyebab terjadinya gangguan karena mengingat pohon biasanya terletak didekat jaringan listrik, ranting pohon yang menempel pada jaringan akibat tiupan angin dapat menyebabkan arus gangguan baik gangguan antar fasa atau fasa ke tanah. Ruang bebas (*Right of Way*) dan jarak aman (*Safety Distance*) antara pohon dengan jaringan SUTM minimal 2,5 meter (Buku PLN, *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah*, 2010:9).

Pohon seiring dengan tuntutan jaman selalu ditanam disudut kota dengan tujuan untuk membuat suasana kota yang sejuk dan nyaman. Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.20/MENHUT-II/2009 menyatakan bahwa satu orang wajib menanam 1 pohon, tujuan dari program ini adalah dalam rangka mengantisipasi perubahan iklim global dan degradasi lahan. Penanaman pohon sebaiknya juga harus memperhatikan kondisi lingkungan sekitar terutama di wilayah perkotaan,

perlu dilakukan banyak pertimbangan apakah tempat tersebut aman atau tidak dalam waktu beberapa tahun kedepan, sehingga tidak akan menimbulkan masalah baru.

Gangguan listrik yang tinggi menyebabkan indeks keandalan sistem jaringan distribusi menurun, sebaliknya suatu sistem jaringan distribusi dapat dikatakan handal apabila jumlah gangguan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu nilainya dibawah standar yang telah ditentukan (Pratama, 2018). Keandalan merupakan tingkat keberhasilan kinerja suatu sistem. Keandalan sistem adalah ketersediaan/tingkat pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke konsumen. Indeks Keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas, untuk tingkat keandalan pelayanan tergantung dari berapa lama terjadi pemadaman selama selang waktu tertentu (satu tahun) atau dikenal dengan SAIDI dan berapa sering (frekuensi) terjadinya pemadaman selama setahun atau dikenal dengan SAIFI (Rudyanto, 2011).

Penelitian ini menggunakan indeks keandalan sistem SAIFI dan SAIDI, SAIFI (*System Average Interruption Frequency Indeks*) merupakan sistem yang digunakan dalam menentukan keandalan berdasarkan frekuensi gangguan, sedangkan SAIDI (*System Average Interruption Duration Indeks*) merupakan sistem yang digunakan untuk menentukan keandalan berdasarkan durasi gangguan. Dalam penentuan indeks keandalan, untuk sistem secara keseluruhan maka faktor-faktor jumlah pelanggan, frekuensi dan durasi/ lama pemadaman dapat dievaluasi dan bisa didapatkan lengkap mengenai kinerja sistem (Arifani, 2013). Semakin jauh letak

tempat atau lokasi beban dari sumber suplai tenaga listrik maka nilai indeks sistem keandalannya akan semakin rendah (Pratama *et al.* 2013).

Berbagai permasalahan dalam hal menjaga kontinuitas pasokan listrik juga terjadi di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang. Salah satu faktor yang menyebabkan menurunnya mutu dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada sistem distribusi PT. PLN (Persero) UP3 Semarang adalah gangguan pada penyulang, dimana penyebabnya didominasi oleh gangguan akibat pohon. Berdasarkan data recloser PLN UP3 Semarang tercatat pada tahun 2017 telah terjadi gangguan sebanyak 669 kali (Laporan PLN UP3 Semarang, 2017). Gangguan tersebut meliputi gangguan komponen JTM, peralatan JTM, Gardu, Tiang, pohon, alam, binatang, layang-layang, diantara gangguan tersebut gangguan yang memiliki frekuensi paling tinggi adalah gangguan akibat pohon sebanyak 308 kali atau 46% dari total gangguan yang terjadi, setiap bulan terjadi gangguan akibat pohon rata-rata 25 kali (Laporan PLN UP3 Semarang, 2017).

Wilayah dengan daerah paling banyak terjadi gangguan pohon tahun 2017 adalah wilayah kerja PT.PLN (Persero) ULP Weleri dengan total gangguan akibat pohon sebanyak 56 kali, dan wilayah dengan gangguan pohon paling sedikit adalah PT. PLN (Persero) ULP Semarang Selatan yaitu sebanyak 16 kali (Laporan PLN UP3 Semarang, 2017). Melalui latar belakang itu maka akan dilakukan penelitian tentang keandalan sistem distribusi SUTM akibat gangguan akibat pohon di dua tempat yaitu ULP Weleri dan ULP Semarang Selatan menggunakan indeks keandalan sistem SAIFI dan SAIDI, penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi peneliti selanjutnya yang akan meneliti tentang indeks keandalan

suatu jaringan distribusi, dan juga bagi PLN UP3 Semarang semoga penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan evaluasi tambahan yang berkaitan dengan keandalan sistem pada jaringan SUTM akibat gangguan pohon dalam upaya meminimalisir pemadaman listrik dan memaksimalkan kualitas daya di wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Semarang, sehingga kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen selalu terjaga.

1.2. Identifikasi Masalah

Permasalahan penelitian yang peneliti ajukan ini dapat diidentifikasi permasalahannya sebagai berikut:

- a. Faktor penyebab gangguan jaringan distribusi SUTM berasal dari faktor *internal* (Kerusakan Peralatan) dan *eksternal* (pohon, alam, binatang, layang-layang/umbul-umbul).
- b. Faktor *eksternal* merupakan faktor dengan frekuensi gangguan yang tinggi dibandingkan dengan faktor *internal*.
- c. Pohon menjadi penyebab gangguan yang potensial pada jaringan distribusi SUTM seperti yang terjadi di PT.PLN (Persero) ULP Weleri.
- d. Frekuensi gangguan yang tinggi menyebabkan menurunnya keandalan sistem distribusi SUTM.

1.3. Batasan Masalah

Untuk menganalisis gangguan akibat pohon di PT.PLN (Persero) UP3 Semarang ULP Semarang Tengah maka permasalahan penelitian ini dibatasi pada:

- a. Analisis dilakukan terhadap gangguan jaringan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) yang diakibatkan oleh pohon.
- b. Data yang diamati adalah data gangguan SUTM pada tahun 2017.
- c. Sistem distribusi yang dijadikan obyek penelitian adalah wilayah yang memiliki gangguan pohon dengan frekuensi tinggi dan rendah.
- d. Indeks keandalan berorientasikan pada pelanggan atau beban dengan konsep SAIFI dan SAIDI.
- e. Standar keandalan yang digunakan meliputi SPLN 68-2 :1986, IEEE std 1366 – 2003, WCS (World Class Service) & WCC (World Class Company).

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang dapat diambil adalah:

- a. Berapa indeks keandalan jaringan distribusi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) PT. PLN (Persero) ULP Weleri dan Semarang Selatan yang disebabkan oleh pohon ?.
- b. Bagaimana hasil perbandingan antara indeks SAIFI dan SAIDI dengan Indeks keandalan yang digunakan PLN UP3 Semarang ?

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mengetahui keandalan sistem distribusi jaringan SUTM yang diakibatkan oleh pohon di PT. PLN (Persero) UP3 Semarang yaitu ULP Weleri dan ULP Semarang Selatan dan mengetahui

perbedaan antara indeks keandalan SAIFI dan SAIDI dengan indeks yang digunakan oleh PLN.

1.6. Manfaat Penelitian

Dengan adanya hasil penelitian tentang analisis gangguan SUTM akibat pohon ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis:

a. Manfaat teoritis: untuk menambah ilmu pengetahuan atau wawasan mengenai keandalan sistem distribusi SUTM akibat gangguan pohon.

b. Manfaat praktis:

Mengetahui potensi gangguan yang diakibatkan oleh pohon dan sebagai pertimbangan PT. PLN (Persero) ULP Weleri dalam upaya mengatasi gangguan tersebut di wilayah kerja PLN ULP Weleri, agar nantinya nilai indeks keandalan sistem jaringan SUTM tersebut baik/tinggi, dapat mencapai indeks keandalan yang meningkat secara signifikan untuk menunjang pelayanan energi listrik yang maksimal kepada konsumen.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang relevan untuk dijadikan referensi dalam penelitian ini. Adapun penelitian tersebut dari Muhammad Agus Salim (2016) berjudul “*Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Mutu Pelayanan*”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa APJ Salatiga memiliki nilai SAIFI sebesar 21 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI sebesar 17,48 jam/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI dan SAIDI Area Pelayanan dan Jaringan Salatiga masih jauh lebih besar dari nilai SAIDI IEEE Std. 1366-2000. Hal ini dapat diartikan bahwa APJ Salatiga belum andal berdasarkan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI IEEE std. 1366-2000. Penelitian ini hanya menggunakan standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI menurut IEEE std. 1366-2000.

Penelitian berikutnya dari Tri *et al.* (2018), berjudul “*Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv dari Gi Industri Penyulang I.5 sampai dengan Gardu Hubung Rapak*” meneliti tentang keandalan sistem distribusi tegangan menengah dengan indeks keandalan SAIDI dan SAIFI. Penyulang Industri 5 (I.5) periode 2017 mempunyai nilai realisasi SAIDI sebesar 7,741 jam/tahun, dan SAIFI sebesar 5,03 kali/tahun, menunjukkan keandalan yang tinggi apabila dibandingkan dengan target yang sudah ditentukan, namun masih belum memenuhi standar IEEE Std. 1366-2000 dengan nilai SAIDI sebesar 2,30 jam/tahun dan nilai SAIFI 1,45 kali/tahun. Setelah adanya perbaikan didapatkan nilai SAIDI hampir mendekati nilai standard

IEEE Std. 1366-2000 yaitu sebesar 2,365 jam/tahun. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ketentuan standar yang lama.

Menak *et al.* (2018) berjudul “*Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Pada Penyulang Pangkalbalam GI Air Anyir di PLN Area Bangka*” meneliti tentang keandalan system jaringan distribusi di PLN Area Bangka, dalam penelitiannya menggunakan indeks parameter SAIFI, SAIDI dan CAIDI untuk mengetahui keandalan sistemnya, kemudian menggunakan simulasi untuk mengetahui perhitungan nilai indeks. Parameter yang digunakan sebagai parameter keandalan masih menggunakan standar yang lama dan hanya menggunakan satu parameter dari SPLN. Hasil dari penelitian ini yaitu didapatkan hasil indeks SAIFI, SAIDI, dan CAIDI melebihi standar yang ditetapkan oleh PLN pada SPLN No 59 tahun 1985 yaitu SAIFI: 3,21 kali/tahun dan SAIDI: 21,094 jam/tahun.

Pratama *et al.* (2013) berjudul “*Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pekalongan 8 dan 11*” meneliti tentang keandalan dua penyulang di PLN Pekalongan. Penelitian ini menghasilkan nilai keandalan pada penyulang PKN 8 dan PKN 11 yaitu SAIFI, SAIDI dan CAIDI untuk penyulang PKN 8 sebesar 2,7468 kali/tahun, 9,3642 jam/tahun dan 3,4092 jam/pelanggan sedangkan untuk penyulang PKN 11 sebesar 2,218 kali/tahun, 8,26 jam/tahun dan 3,7176 jam/pelanggan. Penelitian ini tidak menyertakan target keandalan perusahaan tersebut, hanya mengacu pada satu parameter keandalan yaitu standar SPLN 68-2 Tahun 1986.

Dasman (2017) berjudul “*Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung*”

Tahun 2015)”. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh data yaitu untuk Saidi, nilai target kumulatif yang ditetapkan oleh PT. PLN adalah sebesar 531.510 sementara nilai realisasi kumulatifnya adalah 180.938. Sementara untuk Saifi, nilai target kumulatif yang ditetapkan oleh PT. PLN adalah sebesar 10.100, sedangkan nilai realisasi kumulatifnya adalah 6.348. Sebagai pembandingan nilai indeks keandalan adalah target PT. PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung tahun 2015.

Banyak penelitian yang sudah dilakukan diantaranya yang sudah disebutkan di atas, akan tetapi yang membedakan dalam tiap penelitian adalah subjek penelitian dan pada standarisasi keandalan yang digunakan sebagai batasan keandalan menggunakan standarisasi SPLN 68-2 : 1986, IEEE std 1366-2003, dan WCS (World Class Service) & WCC (World Class Company). Hal ini pula yang membedakan dengan penelitian sebelumnya. Pada penelitian ini menggunakan teknik analisis data perhitungan indeks keandalan dan menggunakan subjek penelitian yaitu gangguan akibat pohon di PT. PLN (Persero) ULP Weleri dan ULP Semarang Selatan, Jawa Tengah.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

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 (Sarimun, 2011). Pada umumnya suatu sistem tenaga listrik yang lengkap memiliki empat unsur (Rendra, 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 di luar pusat beban, maka dibutuhkan tegangan tinggi (TT) atau tegangan extra 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. Gambar 2.1 memperlihatkan skema suatu sistem tenaga listrik.

2.2.2 Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen (Suhadi, 2008:11).

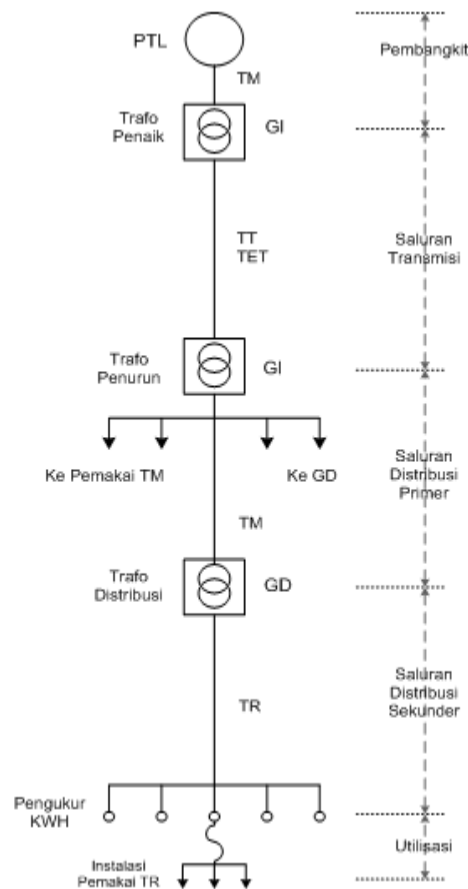
Pada umumnya sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia terdiri atas beberapa bagian, sebagai berikut:

- a. Gardu Induk (GI)
- b. Saluran Tegangan Menengah (TM)/ Distribusi Primer
- c. Gardu Distribusi (GD)
- d. Saluran Tegangan Rendah (TR)/ Distribusi Sekunder

Gardu induk akan menerima daya dari saluran transmisi kemudian menyalurkannya melalui saluran distribusi primer menuju gardu distribusi. Sistem jaringan distribusi terdiri dari dua buah bagian yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi primer umumnya bertegangan tinggi (20 kV atau 6 kV). Tegangan tersebut kemudian diturunkan oleh transformator distribusi pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah (220 atau 380 Volt) untuk selanjutnya disalurkan ke konsumen melalui saluran distribusi sekunder (Rendra, 2010). Pada Gambar 2.1 ditunjukkan bagaimana skema penyaluran daya hingga ke konsumen melalui jaringan distribusi.

Dari penjelasan di atas dapat diketahui fungsi sistem distribusi tenaga listrik, yaitu sebagai berikut (Suhadi, 2008:11).

- a. Untuk pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke pelanggan.
- b. Merupakan subsistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sumber: Abdul Kadir. (2000). *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia

2.2.3 Gangguan Jaringan SUTM (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), gangguan adalah keadaan sistem

yang tidak normal sehingga rangkaian mengalami hubung singkat dan juga rangkaian terbuka (*open circuit*). (Pusdiklat PLN, 2010) 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

Menurut PT. PLN Udiklat Semarang dalam Setiawan (2003 : 78), 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. (Sulasno, 2001 : 108).

2.2.3.1 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 pengamanan yang terpasang melebihi kapasitas peralatan, sehingga saat beban lebih, pengamanan tidak trip (Sarimun Wahyudi, 2011). Beban lebih dapat mengakibatkan pemanasan yang

berlebihan yang selanjutnya dapat mempercepat proses penuaan atau memperpendek umur peralatan. (Setiawan, 2003 : 78)

2.2.3.2 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 : 79)

Menurut Sulasno (2001 : 108), 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*). Sedangkan menurut Pabla (1991 : 234A), penelitian menunjukkan bahwa petir merupakan penyebab sekitar sepertiga dari semua kerusakan pada tegangan tinggi dan sistem distribusi.

2.2.3.3 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).

2.2.3.4 Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat dapat terjadi antar fasa atau fasa dengan tanah dan dapat bersifat temporer/sementara 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 : 78). Gangguan hubung singkat dapat menimbulkan kerusakan pada rangkain listrik terutama jaringan distribusi, peralatan, pengaman, transformator, dan sebagainya. (Sulasno, 2001 : 108).

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

a. Gangguan Temporer

Gangguan yang bersifat sementara karena dapat hilang dengan sendirinya dengan cara memutuskan bagian yang terganggu sesaat, kemudian menutup balik kembali, baik secara otomatis (*autorecloser*) maupun secara manual oleh operator. Bila gangguan sementara terjadi berulang-ulang maka dapat menyebabkan gangguan permanen dan merusak peralatan.

b. Gangguan Permanen

Gangguan bersifat tetap, sehingga untuk membebaskannya perlu tindakan perbaikan atau penghilangan penyebab gangguan. Hal ini ditandai dengan

jatuhnya (*trip*) kembali pemutus tenaga setelah operator memasukkan sistem kembali setelah terjadi gangguan.

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:

- a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
- b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
- c. 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.

2.2.3.4.1 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Munculnya arus gangguan disebabkan karena adanya gangguan pada salah satu fasa, dalam hal ini dimisalkan gangguan pada fasa A (sebagai referensi). Pada Gambar 2.2 gangguan terjadi karena salah satu kawat terhubung ke tanah akibat pohon atau penyebab lainnya.

Nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Sarimun, 2011).

$$I_f = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{0eq} + Z_{1eq} + Z_{2eq} + 3Z_f}$$

Dimana:

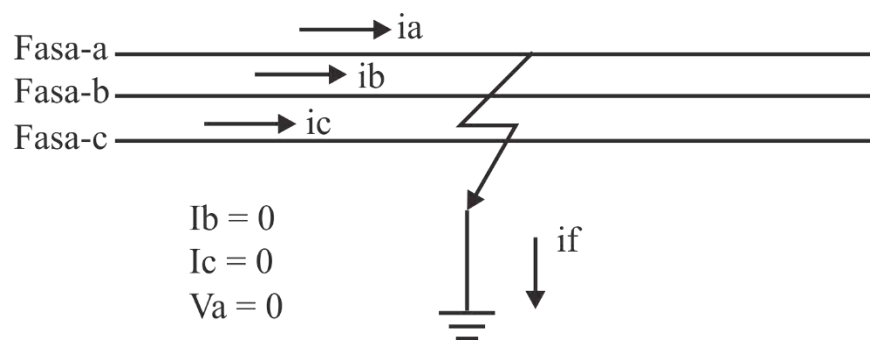
V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem ($20kV/\sqrt{3}$)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen urutan nol = $Z_{0T} + 3R_N + Z_{0penyulang}$ (Ohm)

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif = $Z_{1SC} + Z_{1T} + Z_{1penyulang}$ (Ohm)

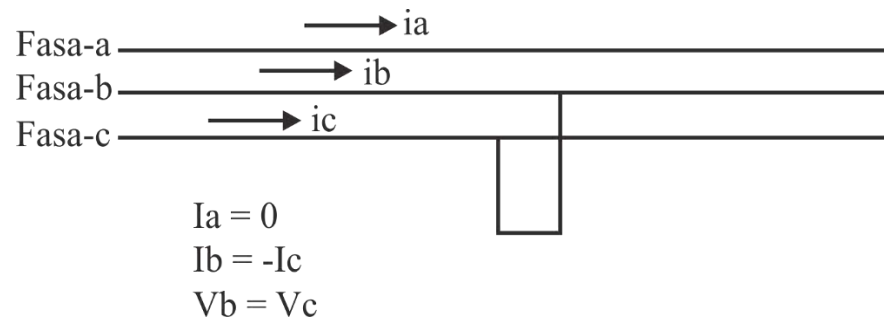
Z_{2eq} = Impedansi ekivalen urutan negatif = $Z_{2SC} + Z_{2T} + Z_{2penyulang}$ (Ohm)



Gambar 2.2. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

2.2.3.4.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat terjadi antara fasa B dan fasa C, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3. Gangguan fasa-fasa yang terjadi pada sistem tenaga listrik ini biasanya karena pohon atau kawat layang-layang.



Gambar 2.3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Nilai arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Sarimun Wahyudi, 2011):

$$I_f = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + 3Z_f}$$

dimana:

V_{ph-ph} = Tegangan fasa-fasa sistem (20kV)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

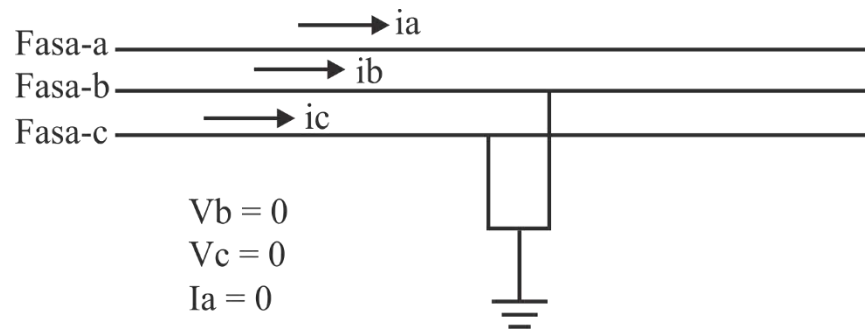
Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan nol = $Z_{0T} + 3R_N + Z_{0penyulang}$ (Ohm)

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif = $Z_{1SC} + Z_{1T} + Z_{1penyulang}$ (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif = $Z_{2SC} + Z_{2T} + Z_{2penyulang}$ (Ohm)

2.2.3.4.3 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat ini terjadi antara fasa B dan fasa C yang terhubung ke tanah, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Biasanya hubungan ini terjadi karena ranting pohon terkena dua fasa.



Gambar 2.4. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Nilai arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Sarimun Wahyudi, 2011):

$$I_f = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq} + \frac{Z_{2eq} \cdot (Z_{0eq} + 3Z_f)}{Z_{2eq} + Z_{0eq} + 3Z_f}}$$

dimana:

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem ($20\text{kV}/\sqrt{3}$)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

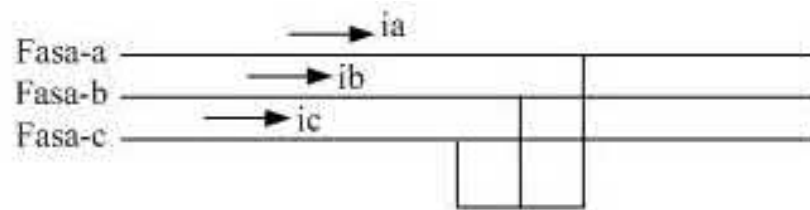
Z_{0eq} = Impedansi ekuivalen urutan nol = $Z_{0T} + 3R_N + Z_{0penyulang}$ (Ohm)

Z_{1eq} = Impedansi ekuivalen urutan positif = $Z_{1SC} + Z_{1T} + Z_{1penyulang}$ (Ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekuivalen urutan negatif = $Z_{2SC} + Z_{2T} + Z_{2penyulang}$ (Ohm)

2.2.3.4.4 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan tiga fasa pada Gambar 2.5 dapat terjadi pada jaringan tenaga listrik karena ketiga fasanya terhubung oleh pohon atau kawat dari benang layanglayang.



Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Nilai arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Sarimun Wahyudi, 2011):

$$I_f = \frac{V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_f}$$

dimana:

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem ($20kV/\sqrt{3}$)

Z_f = Impedansi gangguan (Ohm)

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen urutan positif = $Z_{1SC} + Z_{1T} + Z_{1penyulang}$ (Ohm)

2.2.4 Gangguan SUTM Akibat Pohon

Gangguan eksternal yang diakibatkan oleh pohon merupakan gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi, khususnya Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Sebagian besar gangguan pada saluran udara tegangan menengah tidak disebabkan oleh petir melainkan oleh sentuhan pohon (Suswanto, 2008:116). Gangguan ini tidak dapat diprediksi kapan akan terjadi, namun masih dapat diminimalisir untuk mengurangi resiko terjadinya gangguan akibat pohon. Pohon tumbang atau ranting yang menempel pada jaringan SUTM dapat menyebabkan

arus hubung singkat antar fasa dan hubung singkat fasa ke tanah sehingga akan terjadi pemadaman listrik (Suswanto, 2008:271).



Gambar 2.6 Bahaya pohon atau bangunan di dekat jaringan 20kV

Sumber: PT.PLN (Persero) ULP Tanah Grogot

Pada gardu induk di suatu wilayah pelayanan jaringan tegangan menengah terdapat saklar utama yang dilengkapi dengan alat pengaman (proteksi). Alat pengaman ini bekerja secara otomatis memutuskan aliran listrik pada jaringan listrik PLN jika terjadi hubung singkat atau hubung tanah, dengan tujuan melindungi jaringan yang lain dari kerusakan yang lebih parah. Pengaman gardu induk mengartikan sentuhan pohon sebagai hubung tanah, apabila arus hubung tanah melebihi batas aman, secara otomatis aliran listrik akan padam pada wilayah pelayanan jaringan tegangan menengah yang mengalami gangguan tersebut.

Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi (Stevenson, 1982:317):

a. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.

- b. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- c. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan – peralatan yang lain.
- d. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem-sistem pengamanan yang berbeda-beda. Kejadian ini dikenal sebagai “*cascading*”.

Berdasarkan kesimetrisannya, gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan distribusi akibat pohon 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:

- a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
- b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
- c. 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.

Peraturan tentang penanaman pohon juga sudah diatur dalam Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.20/MENHUT-II/2009 yang berisi aturan-aturan penanaman pohon, artinya segala bentuk penanaman harus mengacu pada peraturan pemerintah yang sudah dibuat, apabila melanggar maka dapat dikenai sanksi. Hal ini juga menjadi perhatian bagi PLN dalam upaya mengatasi gangguan akibat pohon untuk masa yang akan datang mengingat pohon memiliki potensi menyebabkan gangguan pada jaringan listrik. Keberadaan pohon disekitar jaringan SUTM membuat pihak PLN merasa waspada, oleh karena itu dibuatlah aturan mengenai jarak minimal antara pohon dengan jaringan SUTM yaitu 2,5 meter (PT.PLN (Persero), 2010:9).

PT. PLN (Persero) mempunyai peraturan tentang ruang bebas atau *ROW* (*Right of Way*) dan jarak aman (*Safety Distance*). Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif/fasa dari jaringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan. (PT.PLN (Persero), 2010:9). Hal ini mengacu pada keselamatan (*safety*) dan keamanan benda atau objek yang berada disekitar jaringan SUTM terutama untuk kabel yang tidak berisolasi atau kabel terbuka. Secara rinci Jarak aman jaringan terhadap bangunan lain dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Jarak aman SUTM

No	Uraian	Jarak Aman
1	Terhadap permukaan jalan raya	≥ 6 meter
2	Balkon rumah	$\geq 2,5$ meter
3	Atap rumah	≥ 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: Buku Udiklat PLN, 2010

Khusus terhadap jaringan telekomunikasi, jarak aman minimal adalah 1 m baik vertikal atau horizontal. Bila dibawah JTM terdapat JTR, jarak minimal antara JTM dengan kabel JTR dibawahnya minimal 120 cm.

2.2.5 Keandalan Sistem Distribusi

Keandalan tenaga listrik adalah kontinuitas penyaluran tenaga listrik kepada pelanggan, terutama pelanggan daya besar yang membutuhkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik secara mutlak. Menurut Pabla (1994 :107) mendefinisikan keandalan sebagai kemungkinan dari satu atau kumpulan benda akan memuaskan kerja pada keadaan tertentu dalam periode waktu yang ditentukan. Struktur jaringan tegangan menengah memegang peranan penting dalam menentukan keandalan penyaluran tenaga listrik karena jaringan yang baik memungkinkan dapat melakukan *manuver* tegangan dengan mengalokasikan tempat gangguan dan beban dapat dipindahkan melalui jaringan lainnya.

Kontinuitas pelayanan yang merupakan salah satu unsur dari kualitas pelayanan tergantung kepada jenis penghantar dan peralatan pengaman. Jaringan

distribusi sebagai sarana penghantar tenaga listrik mempunyai tingkat kontinuitas tergantung kepada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya. Parameter-parameter keandalan yang biasa digunakan untuk mengevaluasi sistem distribusi adalah frekuensi kegagalan tahunan rata-rata (λ_S), lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (r_S) lama/durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (U_S) (Rahmat *et al.* 2013). Parameter-parameter tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\lambda_S = \sum_i \lambda_i$$

$$U_S = \sum_i \lambda_i r_i$$

$$r_S = \frac{U_S}{\lambda_S}$$

Dimana:

λ_i = Frekuensi pemadaman komponen ke-i

r_i = Waktu pemadaman rata-rata komponen ke-i

Berdasarkan parameter-parameter keandalan dasar ini, didapat sejumlah indeks keandalan untuk sistem secara keseluruhan yang dapat dievaluasi, yaitu SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

2.2.5.1 SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)

SAIFI (*system average interruption frequency index*) adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata tiap tahun yang merupakan jumlah dari perkalian

frekuensi padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Menginformasikan tentang frekuensi pemadaman rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Satuannya adalah pemadaman per pelanggan per tahun. Didefinisikan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\text{jumlah dari perkalian frekuensi padam dan pelanggan padam}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{\sum N_i} \quad (\text{Persamaan 2.1})$$

dengan:

λ_i adalah frekuensi padam

N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban i (Wilis, 2004, h. 111)

2.2.5.2 SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)

SAIDI (*system average interruption durasi index*) adalah indeks durasi atau lama pemadaman rata-rata tiap tahun yang merupakan jumlah dari perkalian lama padam dan pelanggan padam dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. Menginformasikan tentang lama pemadaman rata-rata tiap konsumen dalam suatu area yang dievaluasi. Dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\text{jumlah dari perkalian jam padam dan pelanggan padam}}{\text{jumlah total pelanggan yang terlayani}}$$

$$SAIDI = \frac{\sum U_i N_i}{\sum N_i} \quad (\text{Persamaan 2.2})$$

Dimana: U_i adalah durasi pemadaman/gangguan tahanan untuk beban i

N_i adalah jumlah pelanggan pada titik beban i (Wilis, 2004, h. 112)

2.2.5.3 Standarisasi Nilai SAIFI dan SAIDI

Ukuran keandalan yang mengacu pada SPLN 52-3 (1983:5) disusun berdasarkan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menghidupkan kembali sistem setelah mengalami pemutusan karena gangguan. Tingkatan keandalan tersebut adalah:

Tingkat 1: Dimungkinkan padam berjam-jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena adanya gangguan.

Tingkat 2: Padam beberapa jam, yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas ke lapangan, melokalisir gangguan dan melakukan manipulasi untuk dapat menghidupkan sementara dari arah atau saluran yang lain.

Tingkat 3: Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang *stand by* di gardu atau dilakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.

Tingkat 4: Padam beberapa detik, pengaman dan manipulasi secara otomatis.

Tingkat 5: Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan otomatis.

Untuk patokan penilaian keandalan berdasarkan nilai SAIFI dan SAIDI menurut SPLN 68 - 2 : 1986, IEEE Std. 1366-2003, WCS dapat dilihat pada tabel 2.2 dan tabel 2.3.

Tabel 2.2 Standarisasi nilai SAIFI dan SAIDI

Standar Indeks Keandalan	Standar Nilai	
	SAIFI kali/pelanggan/tahun	SAIDI jam/pelanggan/tahun
SPLN 68-2 : 1986	3,2	21,09
IEEE std 1366-2003	1,45	2,3
World Class Service	3	1,666

Sumber: SPLN 68-2:1986, IEEE std 1366-2003, WCS

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan data hasil penelitian, peneliti memperoleh simpulan yang dapat diambil dari penelitian keandalan sistem distribusi jaringan SUTM akibat gangguan pohon di PT. PLN (Persero) ULP Weleri dan ULP Semarang Selatan bahwa:

- a. Nilai SAIFI dan SAIDI untuk PT. PLN (Persero) ULP Weleri yang diakibatkan gangguan pohon pada jaringan SUTM adalah 7,17 pemadaman/pelanggan/tahun dan SAIDI 10,9 jam padam/pelanggan/tahun. Nilai SAIFI dan SAIDI untuk PT. PLN (Persero) ULP Semarang Selatan yang diakibatkan gangguan pohon pada jaringan SUTM adalah 1,83 pemadaman/pelanggan/tahun dan SAIDI 1,45 jam padam/pelanggan/tahun.

Indeks keandalan antara SAIFI dengan CAIFI PT. PLN (Persero) ULP Weleri memiliki presentase kesalahan sebesar 4,5 %, sedangkan perbandingan antara indeks keandalan sistem SAIDI dengan CAIDI memiliki presentase kesalahan sebesar 5,7 %. Presentase kesalahan antara indeks keandalan sistem SAIFI dengan CAIFI PT. PLN (Persero) ULP Semarang Selatan adalah sebesar 0,5 %, sedangkan untuk presentase kesalahan antara indeks keandalan SAIDI dengan CAIDI nya sebesar 0,2 %.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, adapun saran yang dapat diberikan untuk peneliti selanjutnya antara lain adalah:

1. Penulis menyarankan agar PT. PLN (Persero) UP3 Semarang lebih memperhatikan lagi daerah-daerah yang rawan gangguan akibat pohon seperti di ULP Weleri yang notabene daerah dengan banyak ditumbuhi pepohonan, terutama pada jaringan bebas pohon ROW (*Right of Way*) 2,5 meter sehingga keandalan sistem distribusi lebih baik lagi. Perlu adanya inspeksi yang dilakukan rutin dalam kurun waktu tertentu sehingga gangguan akibat pohon dapat diminimalisir lebih awal agar tidak menimbulkan kerugian bagi konsumen maupun PT. PLN itu sendiri.
2. Pada penelitian yang dilakukan ini menggunakan indeks keandalan sistem SAIFI dan SAIDI dengan orientasi pelanggan/beban, peneliti menyarankan untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya menggunakan jenis sistem keandalan yang lainya seperti indeks keandalan yang berorientasi pada laju kegagalan peralatan yaitu diantaranya ASAI (*Average service availability index*), ASUI (*Average service unavailability index*), MAIFI (*Momentary Average Interruption Frequency Index*). Faktor penyebab gangguan SUTM bisa diganti dengan faktor selain pohon untuk mengetahui berapa indeks keandalanya, seperti gangguan berupa layang-layang, umbul-umbul, hewan, cuaca, dan faktor lainya .

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 2013. *Prosedur Penelitian*. Edisi Tujuh. Cetakan ke 15. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Arismunandar, A. 2001. *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Dasman. 2015. *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20KV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT. PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung Tahun 2015*. Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang. Vol.6, No.2.
- Heru Agus Surasa. 2007. *Analisis Penyebab Losses Energi Listrik Akibat Gangguan Jaringan Distribusi Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Dan Failure Mode And Effect Analysis Di Pt. Pln (Persero) Unit Pelayanan Jaringan Sumberlawang*. Teknik Elektro Universitas Negeri Surakarta
- IEEE Std. 1366-2003. *IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices*.
- Wahyudi, Ragil. 2016. *Analisis keandalan sistem jaringan distribusi di gardu induk bringin penyulang brg-2 pt. pln (persero) ul salatiga dengan metode section technique*. Skripsi. Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Kadir, Abdul. 2000. *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Kelompok Kerja Standar Kontruksi Disribusi Jaringan Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. 2010. *Buku 5 Standar Kontruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Kelompok Kerja Standar Kontruksi Jaringan Disribusi Tenaga Listrik dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia. 2010. *Buku 1 Kriteria Desain Enjinereng Kontruksi Jaringan Disribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: PT. PLN (Persero).
- Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Menak et al. 2018. *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Pada Penyulang Pangkalbalam GI Air Anyir di PLN Area Bangka*. Fakultas Teknik. Universitas Bangka Belitung.
- Nur, Indah Arifani. 2013. *Analisis Nilai Indeks Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20KV Pada Penyulang Pandean Lamper 1,5,8,9,10, di GI Pandean Lamper*. Tugas Akhir. Teknik Elektro Universitas Diponegoro.

- Pabla, A.S., Abdul Hadi, Ir. 1991. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. Jakarta: Badan Penerbit Erlangga
- Peraturan Menteri Kehutanan Nomor 20 Tahun 2009. *Panduan Penanaman Satu Orang Satu Pohon (One Man One Tree)*. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan. 2010. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta : PT. PLN(Persero).
- PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan Dan Pelatihan. 2014. *Pengenalan Proteksi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: PT.PLN(Persero).
- PT. PLN (Persero). 1992. *Buku Pedoman Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PLN*. Semarang: PLN Distribusi Jawa Tengah.
- Rendra, Prambudhi Setyo. 2010. Analisa Penentuan Lokasi Dan Jumlah Sectionalizer Untuk Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi. *Tesis*. 11 November 2014. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Salim, M.A. 2016. *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan Mutu Pelayanan*. Skripsi. Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- Sarimun, N., Wahyudi, 2011, *Buku Saku Pelayanan Teknik* Edisi Kedua, Depok: Garamond.
- Setiawan, T. T., Asni, A. B., & Sugeng, B. 2018. *Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv dari Gi Industri Penyulang I . 5 sampai dengan Gardu Hubung Rapak*. 6(2). Jurnal Teknologi Terpadu Vol.6 No.2. Universitas Balikpapan.
- Shofiyah, I, N. 2014. *Analisis Gangguan Penyulang Akibat Layang-layang di PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten Area Garut Rayon Garut Kota*. Skripsi. Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Standar Peraturan Listrik Negara Nomor 59 Tahun 1985. *Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV*. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Standar Peraturan Listrik Negara Nomor 68-2 Tahun 1986. *Tingkat Jaminan Sistem Tenaga Listrik*. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suhadi dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan. Hal 11.

- Sulasno, Ir., 2001. *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Semarang: Badan Penerbit UNDIP.
- Suswanto, Daman. 2009. *Bab 2 Klasifikasi Jaringan Distribusi*. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang.
- Uddin, N., Rashid, M. M., Mostafa, M. G., Belayet, H., Salam, S. M., & Nithe, N. A. (2016). *Global Energy: Need, Present Status, Future Trend and key Issues*. 16(1).
- Wang, Y., Li, M., Hassanien, R., Hassanien, E., Ma, X., & Li, G. (2018). Photovoltaic System : The Comprehensive Case Study of the 120kWp Plant in Kunming , China. *Journal of Photoenergy Hindawi*, 1–9
- William D. Stevenson Jr. 1996. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga,
- Willis, H. Lee. 2004. *Power Distribution Planning Reference Book Second Edition, Revised and Expanded*, Raleigh, NortCarolina, U.S.A. New York-Basel: Marcel Dekker, Inc.