

ANALISA PENYEBAB GANGGUAN JARINGAN DISTRIBUSI GI SIRIMAU PT PLN. (PERSERO) AREA AMBON MENGGUNAKAN METODE FTA (FAULT TREE ANALISYS)

Suhendra Wasahua¹, J.J. Rikumahu², A.J. Katanja³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ambon

¹Suhendrawasahua04@gmail.com

Abstract - Disturbance of the electricity distribution network It can be interpreted that there is a loss of electrical energy both technically and non-technically. This can be seen based on the disturbance data of 5 (five) Feeders at the Sirimau Substation, it is known that the average network disturbance that occurs is the most in January - December 2021, namely the Ahuru Feeder with 30 disturbances. on the Karpan feeder 1 with 18 disturbances, the Karpan 2 feeder 14, the Manusela feeder 6, and the feeder with the least disturbance, namely the Upper Tantui feeder with only 3. According to the data, the data is processed using the FTA (Fault Tree Analysis) method. obtain an analysis of the causes of damage to the electricity distribution network, namely, Natural disturbances, Natural disturbances that cause damage to the distribution network can be in the form of: strong winds, lightning, floods, and heavy rains. Problems that occur due to natural disturbances are: damage to cables and power poles, damage to lightning rods, and damage to connectors. Human disturbances, human activities often cause damage to the electricity distribution network, activities in the form of kite flying, third party work, and can cause damage to distribution networks. cause snagging and death on the power cable, so that the distribution of electricity is disrupted. Disturbances in electrical components / materials usually occur because the quality of the components used in the distribution of electricity is not good, so that damage to the electricity distribution network often occurs. The material used is old, so it is easy to be porous, worn, and broken.

Keywords : Feeder; Fault Tree Analysis; Substation; Disturbance

Abstrak - Gangguan jaringan distribusi listrik Dapat di artikan bahwa adanya energi listrik yang hilang baik secara teknis maupun non teknis. Hal ini dapat di lihat berdasarkan data gangguan 5 (lima) Penyulang yang ada pada Gardu Induk Sirimau, maka diketahui bahwa rata-rata gangguan jaringan yang terjadi paling banyak di bulan Januari – Desember tahun 2021, yaitu pada Penyulang Ahuru dengan jumlah gangguan 30. Selanjutnya pada Penyulang Karpan 1 dengan jumlah gangguan 18, Penyulang Karpan 2 14, Penyulang Manusela 6, dan Penyulang yang paling sedikit terjadi gangguan yakni penyulang Tantui Atas dengan jumlah gangguan hanya 3. Sesuai dengan data tersebut maka data diolah dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) mendapatkan analisis penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik, yaitu, Gangguan alam, Gangguan alam yang menyebabkan kerusakan jaringan distribusi dapat berupa: angin kencang, petir, banjir, dan hujan lebat. Permasalahan yang terjadi akibat gangguan alam yaitu: kerusakan kabel, dan tiang listrik, kerusakan penangkal petir, dan kerusakan konektor. Gangguan manusia, aktivitas manusia seringkali menyebabkan kerusakan jaringan distribusi listrik, aktivitas berupa bermain layang-layang, Pekerjaan pihak ke III, dan dapat menyebabkan kerusakan jaringan distribusi. menyebabkan tersangkut dan mati diatas kabel listrik, sehingga distribusi listrik terganggu. Gangguan komponen /material listrik biasanya terjadi karena mutu komponen yang dipakai dalam pendistribusian listrik tidak bagus, sehingga sering terjadikerusakan jaringan distribusi listrik. material yang dipakai tersebut sudah lama, sehingga mudah keropos, aus, hingga patah.

Kata Kunci : Penyulang; Fault Tree Analysis; Gardu Induk; Gangguan

I. PENDAHULUAN

Di dalam penyediaan tenaga listrik, dapat dibedakan secara jelas tiga proses penyampaian tenaga listrik yaitu pembangkitan transmisi dan distribusi yang dapat dianggap sebagai produksi atau pembuatan pengangkutan dan penjualan eceran tenaga listrik. Pembangkitan atau produksi tenaga listrik dilakukan dalam pusat-pusat tenaga listrik dengan menggunakan generator- generator. Listrik merupakan salah satu komoditi strategis dalam perekonomian Indonesia,

karena selain digunakan secara luas oleh masyarakat terutama untuk keperluan penerangan, listrik juga merupakan salah satu sumber energi utama bagi sektor industri [1].

Transmisi atau penghantaran adalah memindahkan tenaga listrik dari pusat-pusat tenaga listrik secara besar-besaran ke tempat-tempat tertentu yang dinamakan gardu-gardu induk. Dari gardu-gardu induk ini, tenaga listrik di distribusikan ke gardu - gardu distribusi, kemudian ke para pemakai atau konsumen. Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah perusahaan yang bergerak pada bidang ketenagalistrikan

Mengenai akar penyebab masalah yang paling berpengaruh terhadap gangguan jaringan pada distribusi listrik, maka nantinya penulis akan menggunakan Metode FTA (*Fault Tree Analysis*). FTA (*Fault Tree Analysis*) adalah suatu teknik yang di gunakan untuk mengidentifikasi resiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan.

Masalah yang penulis temui untuk penelitian ini yaitu sering terjadi gangguan jaringan distribusi listrik Pada GI Sirimau PT. PLN Persero Area Ambon. Maka dari penelitian ini bertujuan untuk menentukan penyebab utama gangguan pada jaringan distribusi listrik pada GI Sirimau PT. PLN (Persero) Area ambn dengan menggunakan metode FTA (*Fault Tree Analysis*)

Dengan tujuan untuk diperoleh suatu usulan perbaikan untuk mnekan tingginya gangguan dan meningkatkan mutu pelayanan distribusi listrik pada GI Sirimau PT. PLN (Persero) Area Ambon. Maka dari itu penulis beralasan dengan melakukan penelitian dengan judul “Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Gi Sirimau PT. PLN (Persero) Area Ambon”

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Litelatur

2.1.1. Proses Penyampaian Jaringan

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik seperti pembangkit listrik tenaga air, kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan yang ada dipusat listrik.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi, maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut tegangan distribusi primer. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi, maka sampailah tenaga listrik di gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang digunakan pada saat ini adalah tegangan 20 kV. Jaringan setelah keluar dari GI disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara pusat listrik dengan GI disebut jaringan transmisi.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) melalui sambungan rumah. Dalam praktek, karena luasnya jaringan distribusi, maka diperlukan banyak transformator distribusi. Gardu distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang.

2.1.2. Penghantar Sistem Distribusi

Pada jaringan distribusi, jaringan tegangan menengah menghubungkan daerah industri berukuran menengah, daerah perumahan kota besar dan daerah pedesaan ke jaringan tegangan tinggi lewat trafo gardu induk, tegangan rendah biasanya dipergunakan untuk mensuplai perumahan dan daerah industri ringan di kota-kota dan pedesaan dari trafo-trafo distribusi.

Di daerah industri, jaringan tegangan rendah mengalirkan energi dari trafo distribusi ke mesin-mesin listrik. Pemilihan tegangan tergantung pada ukurandaerah suplai dan pembebanan (rugi tegangan, penampang penghantar) serta tegangan jaringan yang berdekatan pada jaringan tegangan rendah juga pada kontak yang diizinkan.

Material yang dipakai untuk penghantar umumnya tembaga dan aluminium, baja hanya dipakai untuk tulang kawat aluminium, jadi jenis penghantar yang dipakai adalah tembaga, aluminium atau SCAC (*steel cored aluminium conductor*).

Pemilihan penampang penghantar dipengaruhi oleh pertimbangan- pertimbangan antara lain untuk pembebanan kabel yang diperbolehkan tergantung pada kemampuan isolasi untuk melawan kenaikan temperatur, jadi pada temperatur penghantar dan temperatur udara di sekelilingnya, pembebanan saluran udara yang diperbolehkan dibatasi oleh

pengurangan kekuatan mekanis bila temperatur bertambah.

Penampang penghantar yang besar mengurangi kerugian tetapi menyebabkan harga menjadi lebih mahal, perbandingan optimum antara harga kerugian dan harga kawat memberikan penampang penghantar ekonomis. Penghantar yang biasanya dipakai untuk penghantar distribusi antara lain:

Penghantar Telanjang

Bahan yang dipakai dalam penghantar jenis ini ialah tembaga, aluminium, baja, kombinasi tembaga dan baja atau kombinasi aluminium dengan baja. Tembaga adalah material yang paling banyak dipakai untuk penghantar karena sangat baik menghantarkan arus listrik, selain harganya cukup murah juga mudah disambung. Aluminium banyak dipakai terutama pada jaringan tegangan tinggi, dibandingkan dengan kawat tembaga dengan ukuran fisik yang sama, kawat aluminium mempunyai konduktifitas 60%, kekuatan tarik 45% dan berat 33%. Untuk mendapatkan konduktifitas sama, penampang aluminium harus 1.66 kali lebih besar daripada penampang kawat tembaga.

Kawat aluminium dengan ukuran ini mempunyai kekuatan tarik 75% dan berat 55% dari kawat tembaga. Untuk menambah kekuatan tariknya biasanya kawat aluminium diberi tulangan pada intinya, kawat semacam ini disebut kawat aluminium bertulang baja atau ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Kekuatan tarik aluminium dengan kapasitas mengalirkan arus yang sama dengan kawat tembaga hampir sama dengan kekuatan tarik tembaga tersebut.

Penghantar Berisolasi (Kabel)

Kabel dapat dipakai untuk saluran udara dan untuk saluran bawah tanah, pemasangan kabel dapat secara langsung atau dimasukkan kedalam pipa. Kabel yang dipakai untuk sistem saluran bawah tanah harus tahan terhadap kelembaban yang tak terselubung dengan tegangan kerja 600 V banyak dipakai untuk jaringan distribusi sekunder, kabel dapat terdiri dari penghantar dan seterusnya tergantung jumlah penghantar yang berisolasi saling terpisah dalam selubung. Isolasi kabel dapat dibuat dari bermacam-macam bahan, kertas banyak dipakai untuk kabel-kabel bertegangan 600V–35KV, Polietilena untuk 600 V–138 KV, kain yang dipernis untuk 600 V–8 KV, Kertas dipakai untuk tegangan yang lebih tinggi karena karakteristik rugidielektrik rendah dan harganya murah.

2.1.3. Jenis-Jenis Jaringan Distribusi

Secara umum jenis-jenis jaringan distribusi dibagi menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan sekunder

1. Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan jaringan distribusi yang menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah (JTM) yang pada umumnya bertegangan 20 kV.

2. Jaringan Distribusi Sekunder

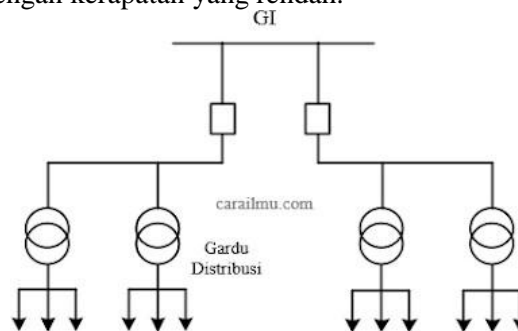
Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan distribusi yang menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi menuju ke pelanggan. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan rendah (JTR) yang pada umumnya bertegangan 380/220 V.

2.1.4. Konfigurasi Jaringan Distribusi Primer

Konfigurasi jaringan distribusi primer berperan penting dalam menentukan kontinuitas penyaluran energi listrik ke pelanggan. Berdasarkan konfigurasinya, jaringan distribusi primer dibagi menjadi empat jenis, yaitu sebagai berikut.

1. Jaringan Distribusi Konfigurasi Radial

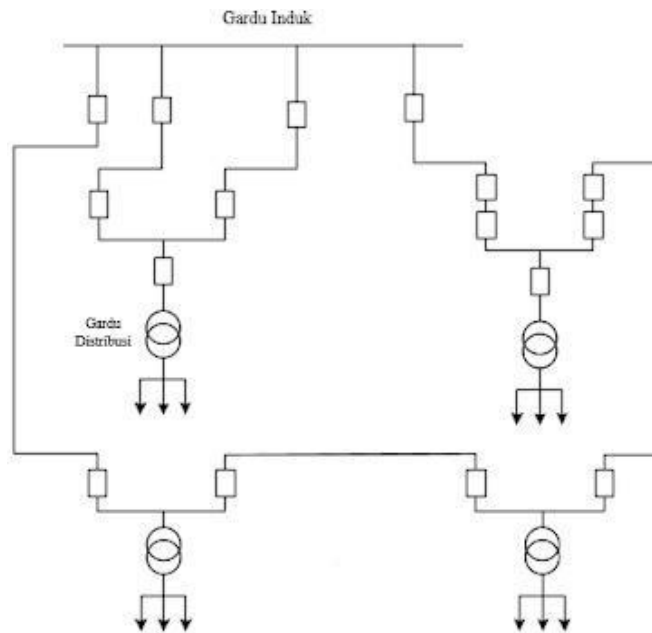
Konfigurasi jaringan distribusi ini hanya mampu melayani beban dengan satu arah aliran daya. Konfigurasi ini biasa digunakan untuk tipe pelanggan dengan kerapatan yang rendah.



Gambar 1 Konfigurasi jaringan radial

2. Jaringan Distribusi Konfigurasi Loop

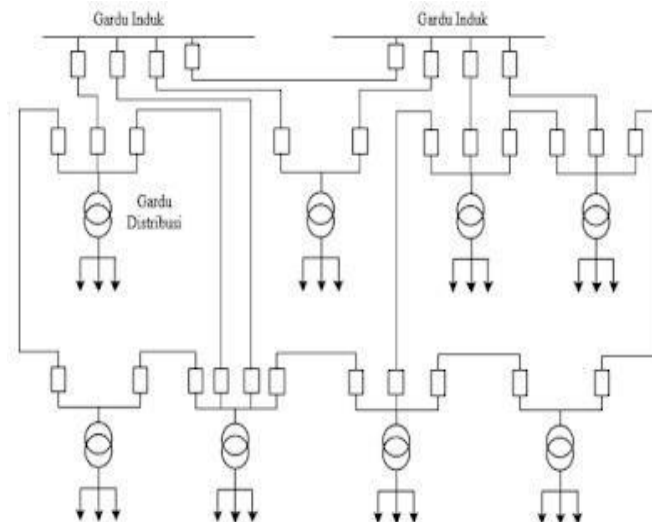
Konfigurasi jaringan distribusi ini ditandai dengan arah alirannya yang dimulaidari rel sumber kemudian menuju beban dan kembali ke rel sumber. Jadi, ketikaada satu aliran yang mengalami gangguan maka aliran lain menjadi backup.Konfigurasi jaringan distribusi ini diperuntukkan untuk jenis pelanggan yang membutuhkan kontinuitas daya listrik.



Gambar 2 Konfigurasi Jaringan Loop

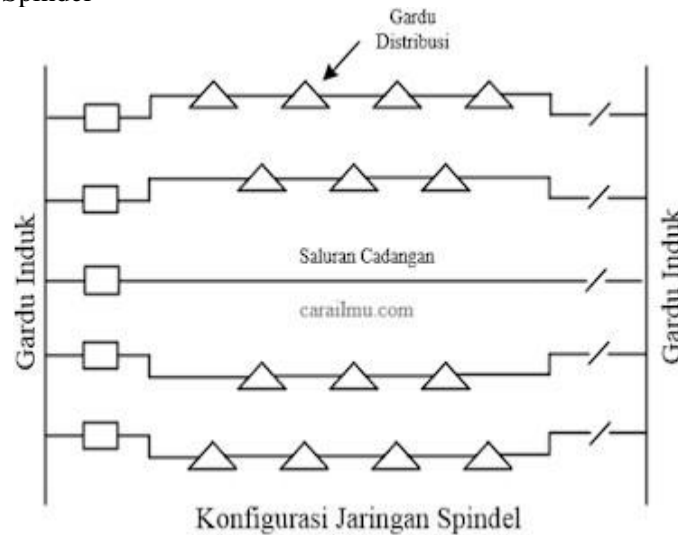
3. Jaringan Distribusi Konfigurasi Gird

Konfigurasi jaringan ini mirip dengan konfigurasi jaringan loop namun dengan aliran penyaluran yang lebih banyak sehingga mampu memiliki banyak aliran yang siap membackup apabila terdapat suatu gangguan di salah satu aliran daya. Konfigurasi jaringan ini cocok untuk tipe pelanggan yang membutuhkan kontinuitas daya dengan kerapatan yang tinggi.



Gambar 3 konfigurasi jaringan gird

4. Jaringan Distribusi Konfigurasi Spindel



Gambar 4 konfigurasi jaringan spindel

Konfigurasi jaringan ini memuat beberapa saluran yang keluar dari gardu induk diarahkan menuju suatu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara GI dan GH tersebut dihubungkan dengan satu saluran yang disebut express feeder. Konfigurasi ini cocok untuk tipe pelanggan yang membutuhkan pasokan energi listrik yang banyak seperti di perkotaan.

2.1.5 Gangguan Jaringan

a. Gangguan Hubung Singkat

- 1) Gangguan hubung singkat : dapat terjadi antar fase (3 fase atau 2 fase) atau 1 fase ke tanah dan sifatnya bisa temporer atau permanen.
- 2) Gangguan permanen : Hubung singkat pada kabel, belitan trafo, generator, (tembusnya isolasi).
- 3) Gangguan temporer : *Flash Over* karena sambaran petir, *FlashOver* dengan pohon, tertiuip angin.

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

Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan agak lama pada suatu sistem daya, akan banyak pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan yang akan terjadi. Berikut ini akibat yang ditimbulkan gangguan hubung singkat antara lain:

- a) Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
- b) Rusaknya perlengkapan-perengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus-arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
- 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) erpecah-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*”.

b. Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan. Beban lebih adalah sejumlah arus yang mengalir yang lebih besar dari arus nominal. Hal ini terjadi karena

penggunaan daya listrik oleh konsumen melampaui kapasitas nominal mesin. Hal ini tidaklah segera merusak perlengkapan listrik tetapi mengurangi umur peralatan listrik. Untuk waktu yang singkat arus lebih tidaklah membawa akibat yang jelek terhadap perlengkapan listrik, umpamanya pada waktu menjalankan motor-motor, arus mulanya cukup besar dalam waktu yang singkat tetapi tidak banyak berpengaruh terhadap peralatan listrik [2].

c. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih termasuk gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi. Berdasarkan penyebabnya maka gangguan tegangan lebih ini dapat dikelompokkan atas dua hal, yaitu :

1. Tegangan Lebih Power Frekwensi. Pada sistem distribusi hal ini biasanya disebabkan oleh kesalahan pada AVR atau pengatur tap pada trafo distribusi.
2. Tegangan Lebih Surja. Gangguan ini biasanya disebabkan oleh surja hubung atau surja petir

III. METODE PENELITIAN

Salah satu *tools* yang digunakan untuk menelusuri kerusakan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA lebih menekankan pada “*Top – Down Approach*”, karena analisa ini barawal dari sistem *top level* dan meneruskannya ke bawah. Metode-metode analisis sistem Digunakan untuk menganalisis adanya kesalahan dalam suatu sistem. Titik awal analisis FTA adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada *top level* suatu sistem. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen– komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event* [3].

Analisis sistem dapat dilakukan secara sederhana maupun secara kompleks, akan tetapi secara umum analisis sistem akan melibatkan dua kategori pertanyaan, sebagai berikut:

Pertanyaan Yang Berkaitan Dengan Sebab.

Sebab adalah suatu kondisi yang akan mengakibatkan munculnya kejadian lain dalam sistem. Sebab merupakan kejadian awal yang harus di analisis dengan baik untuk mencegah munculnya kejadian- kejadian berikutnya yang tidak diinginkan. Adapun contoh pertanyaan yang berkaitan dengan sebab misalnya apa penyebab kereta api bisa bertabrakan.

Pertanyaan Yang Berkaitan Dengan Akibat.

Akibat adalah suatu kondisi yang akan muncul di dalam sistem karena adanya sebab. Analisis kemudian dilakukan untuk mengetahui akibat apa yang muncul jika terjadi suatu kondisi awal (sebab).

FTA merupakan metode analisis deduktif untuk mengidentifikasi terjadinya kerusakan pada sistem dengan cara menggambarkan alternatif- alternatif kejadian dalam suatu blok diagram secara terstruktur. Analisis deduktif dapat dilakukan pada semua sistem kompleks.

Titik awal analisa FTA adalah pengidentifikasian mode kegagalan pada *top level* suatu sistem. Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen– komponen sistem (*Basic Event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. menyatakan hubungan tersebut disebut gerbang logika. Dari diagram *Fault Tree* ini dapat disusun *cut set* dan *minimal cut set*. *Cut set* yaitu serangkaian komponen system, apabila terjadi kegagalan dapat berakibat kegagalan pada sistem. Sedangkan *minimal Cut Set* yaitu set minimal yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem. FTA menggunakan langkah- langkah terstruktur dalam melakukan analisis pada sistem. Adapun langkah- langkah FTA, yaitu:

1) Mengidentifikasi Kejadian/Peristiwa Terpenting Dalam Sistem (*Top Level Event*)

Langkah pertama dalam FTA ini merupakan langkah penting karena akan mempengaruhi hasil analisis sistem. Pada tahap ini, dibutuhkan pemahaman tentang sistem dan pengetahuan tentang jenis-jenis kerusakan (*Undesired Event*) untuk mengidentifikasi akar permasalahan sistem. Pemahaman tentang sistem dilakukan dengan mempelajari semua informasi tentang sistem dan ruang lingkupnya dan ruang lingkupnya.

Membuat Pohon Kesalahan.

Setelah permasalahan terpenting teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menyusun urutan sebab akibat pohon kesalahan. Pada tahap ini, *Cause And Effect* diagram (Ishikawa) dapat digunakan untuk menganalisis kesalahan dan mengeksplorasi keberadaan kerusakan yang tersembunyi. Pembuatan pohon kesalahan dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol *Boolean*. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistensi pohon kesalahan.

Menganalisis Pohon Kesalahan.

Analisis pohon kesalahan diperlukan untuk memperoleh informasi yang jelas dari suatu sistem dan perbaikan-

perbaikan apa yang harus dilakukan pada sistem.

Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

Menyederhanakan Pohon Kesalahan.

Tahap pertama analisis pohon kesalahan adalah menyederhanakan pohon kesalahan dengan menghilangkan cabang cabang yang memiliki kemiripan karakteristik. Tujuan penyederhanaan ini adalah untuk mempermudah dalam melakukan analisis sistem lebih lanjut.

2). Menentukan peluang.

Munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*Top Level Event*). Setelah pohon kesalahan disederhanakan. tahap berikutnya adalah menentukan peluang kejadian paling penting dalam sistem. Pada langkah ini, peluang semua input dan logika hubungan digunakan sebagai pertimbangan penentuan peluang.


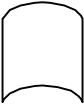
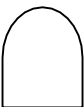

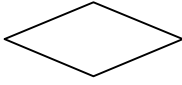
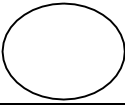
3). Mereview hasil analisis.

Review hasil analisis dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perbaikan yang dapat dilakukan pada sistem. *Output* yang diperoleh setelah melakukan FTA adalah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh akar permasalahan sebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas perbaikan permasalahan yang tepat pada sistem. Grafik enumerasi akan menggambarkan bagaimana kerusakan bisa terjadi, penggambaran grafik enumerasi menggunakan simbol-simbol boolean. Grafik enumerasi ini merupakan pohon kesalahan (*Fault Tree*) yang akan dianalisis berdasarkan peluang masing- masing penyebab kesalahan. Grafik enumerasi disebut pohon kesalahan (*Fault Tree*) karena susunannya seperti pohon, yaitu mengerucut pada satu kejadian sertasemakin ke bawah dipecah menjadi cabang- cabang kejadian yang lain. Simbol- simbol dalam FTA dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1). Simbol-Simbol *Gate*.

Simbol *gate* digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama- sama menyebabkan kejadian lain muncul. Adapun simbol-simbol hubungan yang digunakan dalam FTA dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 1 Simbol-Simbol Hubungan dalam FTA

Simbol	Keterangan
	<i>Top Event</i>
	<i>Logie Event OR</i>
	<i>Logie Event AND</i>
	<i>Transferred Event</i>
	<i>Undeveloped Event</i>
	<i>Basic Event</i>

- Gerbang AND

Gerbang AND digunakan untuk menghasilkan logika 1 jika semua masukan berlogika 1, jika tidak maka output yang akan dihasilkan akan berlogika 0. Seperti yang terdapat pada tabel kebenaran di bawah ini.

Tabel 2 Hubungan dua kejadian dengan logika AND

Kejadian 1	Kejadian 2	Hasil
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

- Gerbang OR

Gerbang OR digunakan untuk menghasilkan logika 0 jika semua masukan berlogika 0, jika tidak maka output akan berlogika 1. Seperti yang terdapat pada tabel kebenaran di bawah ini.

Tabel 3 Hubungan dua kejadian dengan logika OR

Kejadian 1	Kejadian 2	Hasil
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

- Gerbang XOR

Gerbang XOR merupakan gerbang yang outputnya akan bernilai benar atau “1” jika nilai inputnya berbeda dan bernilai salah atau “0” jika nilainya sama. Seperti yang terdapat pada tabel kebenaran di bawah ini.

Tabel 4 Hubungan dua kejadian dengan logika XOR

Kejadian 1	Kejadian 2	Hasil
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	0

Keterangan;

1 : Jika suatu kejadian atau kombinasi kejadian muncul dalam sistem



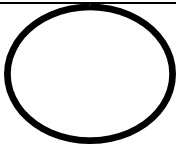
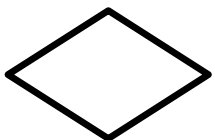
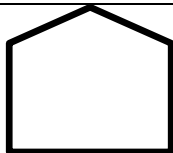
0 : Jika suatu kejadian atau kombinasi kejadian tidak muncul dalam sistem.

2) Simbol-Simbol Kejadian (*Event*)

Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan kita dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi. Simbol-simbol kejadian (*event*) Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih

memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi [4]. Adapun simbol-simbol kejadian yang digunakan dalam FTA, yaitu:

Tabel 5 Simbol-simbol kejadian yang digunakan dalam FTA

No	Simbol	Keterangan
1		<i>Ellipse</i> Gambar <i>ellipse</i> menunjukkan pada level paling atas (top level) dalam pohon kesalahan
2		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangale</i> menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>) dalam pohon kesalahan
3		<i>Circle</i> Gambar <i>circle</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah (<i>flowest level failure event</i>) atau disebut kejadian paling dasar(<i>basic event</i>)
4		Diamond Gambar diamond menunjukkan kejadian yang tidak terduga (<i>undeveloped event</i>). Kejadian-kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan di anggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan.
5		<i>House</i> Gambar <i>House</i> menunjukkan kejadian input (input event) dan merupakan kegiatan terkendali (signal).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Deskripsi Lokasi Penelitian

Data dan pembahasan yang terdapat dalam penelitian ini di ambil dari lokasi penelitian pada Gardu Induk Sirimau PT PLN Persero Area Ambon. Gardu induk sirimau merupakan salah satu gardu yang ada di Pulau Ambon yang terletak di Jln.. Wem Tehupelory Kec SiRimau Kota Ambon. Secara geografis, terletak di daerah dataran cukup tinggi dengan waktu tempu sekitar 15 menit dari pusat kota ambon.

4.1.2 Pengumpulan Data

Tabel 6 Data Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Pada Penyulang Tantui Atas Tahun 2021

[illegible]

[illegible]

Tabel 7 Data Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Pada Penyulang Karpan 1 Tahun 2021

Penyulang	Bulan	Gangguan										jumlah
		OCR	GFR	I-1	I-2	I-3	I-4	E-1	E-2	E-3	E-3	
K A R P A N 1	Jan		1								1	2
	Feb											0
	Mar											0
	Apr											0
	Mei		1					1				2
	Jun	1	1	1						1		4
	Jul	2		1							1	4
	Ags											0
	Sep											0
	Okt											0
	Nov	1	1	1						1		4
	Des		1								1	0
Jumlah		4	5	3	0	0	0	1	0	2	3	18

Tabel 8 Data Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Pada Penyulang Karpan 2 Tahun 2021

[illegible]

2	Ags											0
	Sep											0
	Okt	1						1				2
	Nov	1								1		2
	Des		1					1				2
Jumlah		1	4	3	0	1	0	0	2	0	3	14

Tabel 9 Data Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Pada Penyulang Ahuru Tahun 2021

Penyulang	Bulan	Gangguan										jumlah
		OCR	GFR	I-1	I-2	I-3	I-4	E-1	E-2	E-3	E-3	
A H U R U	Jan		1					1				2
	Feb	1							1			2
	Mar		3					1		1	1	6
	Apr											0
	Mei		1				1					2
	Jun	2	1	1	1			1				6
	Jul		1					1				2
	Ags											0
	Sep											0
	Okt		2					1		1		4
	Nov		3							2	1	6
	Des											0
Jumlah		3	12	1	1	0	1	5	1	4	2	30

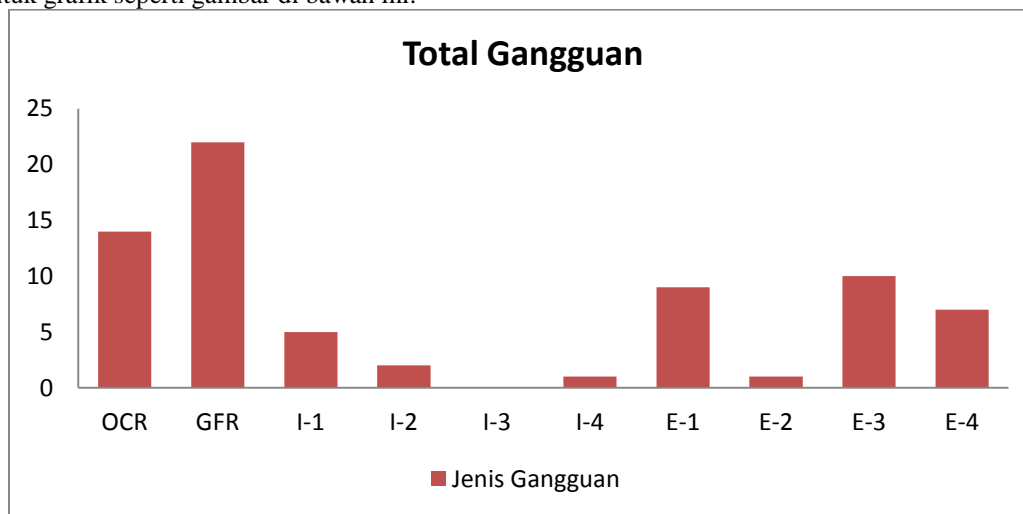
Tabel 10 Data Gangguan Jaringan Distribusi Listrik Pada Penyulang Manusela Tahun 2021

Penyulang	Bulan	Gangguan										jumlah
		OCR	GFR	I-1	I-2	I-3	I-4	E-1	E-2	E-3	E-3	
M A N U S E L A	Jan	1		1								2
	Feb											0
	Mar											0
	Apr											0
	Mei											0
	Jun											0
	Jul											0
	Ags											0
	Sep	1	1					1		1		4
	Okt											0
	Nov											0
	Des											0
Jumlah		2	1	1	0	0	0	1	0	1	0	6

Keterangan :

- OCR : Over Current Relay
GFR : Ground Fault Relay
I-1 : Kmponen JTM
I-2 : Peralatan JTM
I-3 : Trafo dll
I-4 : Tiang
E-1 : Pohon
E-2 : Baencana Alam
E-3 : Pekerjaan pihak III / Binatang
E-4 : Layang-layang / Umbul-umbul dll

Dari data gangguan yang terjadi pada setiap penyulang pada GI Sirimau di atas, kemudian penulis dapat menyimpulkan data tersebut dalam bentuk grafik seperti gambar di bawah ini.



Gambar 5 Grafik Jenis Gangguan

Dari tabel 6 sampai 10 yaitu data gangguan seluruh Penyulang yang ada pada Gardu Induk Sirimau, maka diketahui bahwa rata-rata gangguan jaringan yang terjadi paling banyak di bulan Januari – Desember Tahun 2021, yaitu pada Penyulang Ahuru dengan jumlah gangguan 30. Selanjutnya pada Penyulang Karpan 1 dengan jumlah gangguan 18, Penyulang Karpan 2 14, Penyulang Manusela 6, dan Penyulang yang paling sedikit terjadi gangguan yakni penyulang Tantui Atas dengan jumlah gangguan hanya 3. Dan untuk mengetahui penyebab terjadi gangguan jaringan distribusi pada GI Sirimau maka dari itu penulis akan membuat pohon kesalah dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*).

4.1.3 Pengolahan Data

Sesuai dengan data diatas maka didapatkan letak, penyebab, dan akibat kerusakan sistem jaringan distribusi yang dibuat seperti pada tabwl dibawah ini, yang kemudian akan dibuat dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*).

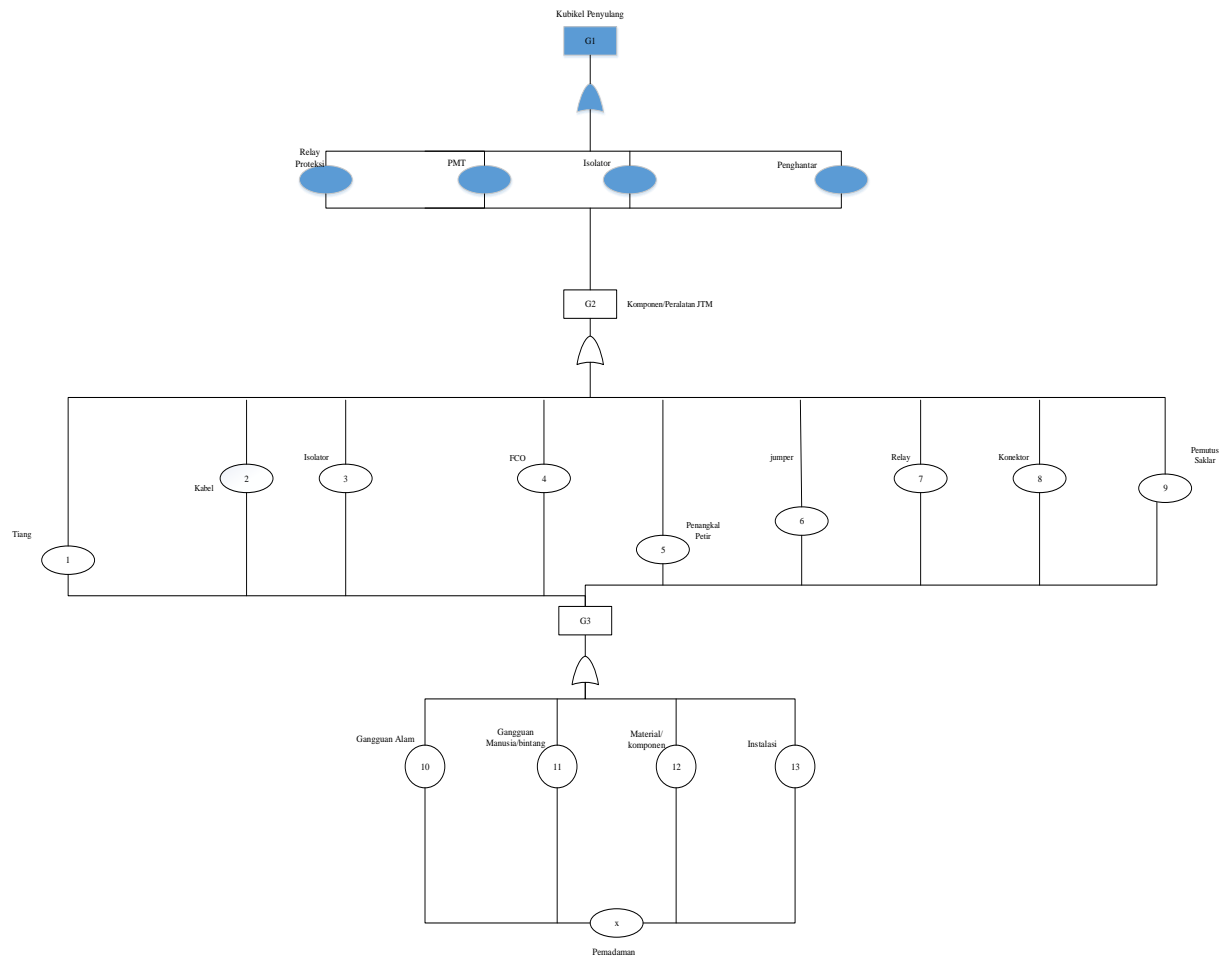
Tabel 11 Identifikasi letak, penyebab, dan akibat kerusakan sistem jaringan distribusi listrik

Letak kerusakan	Komponenrusak	Akibat kerusakan	Penyebab kerusakan
Gardu induk	Saklar pemutus tenaga (PMT)	Komponen tidak terika kencang, PMT terbuka	Kesalahan instalasi
	Saklar pemisah (PMS)	Komponen kendor	Kesalahan instalasi
Jaringan tegangan menengah(JTM)	Tiang listrik	Tiang listrik roboh	Gangguan alam
	Kabel listrik	Kabel listrik putus	Gangguan alam
			Gangguan manusia
			Kesalahan instalasi
			Gangguan material
	Isolator	Isolator rusak	Gangguan komponen
	Pelebur	Pelebur bocor	Kesalahan instalasi
	Penangkal petir	Penangkal petir rusak	Gangguan alam
Transformator Distribusi	Transformator	Jumperan trafo rusak	Gangguan komponen
		Transformator rusak	Gangguan komponen
Jaringan tegangan rendah (JTR)	Relay	Hubung singkat	Gangguan alam
			Gangguan binatang
			Gangguan manusia
	Konektor	Konektor tidak stabil	Gangguan alam

Pada tabel di atas dapat diketahui letak kerusakan jaringan distribusi untuk semua komponen yang ada dalam sistem jaringan distribusi listrik dapat berupa saklar PMT dan PMS, isolator, konektor, pelebur, penangkal petir, APP, MCB, dan lain-lain. hasil dari karakterisasi ini, kemudian akan dibuat pohon kesalahan. Analisis Kesalahan Dalam Sistem Jaringan Distribusi Listrik (*Undisired Event*).

4.1.3 Mengambar pohon kesalahan berdasarkan identifikasi sistem jaringan distribusi.

Gambar pohon kesalahan dibuat setelah mengidentifikasi semua kerusakan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi listrik. Pembuatan pohon kesalahan (*fault tree*) dilakukan dengan menggunakan simbol-simbol Boolean. Standarisasi simbol-simbol tersebut diperlukan untuk komunikasi dan konsistensi pohon kesalahan (*Fault Tree*). Logika yang dipakai dalam gambar pohon kesalahan adalah logika “OR”, yang menggambarkan bahwa salah satu kondisi *Input* dapat menyebabkan kondisi *Output* muncul. Jadi *Output* dapat muncul jika salah satu, beberapa dan atau semua kondisi *Input* terjadi. Berikut gambar pohon kesalahan yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 6 Pohon Kesalahan

Keterangan kode dalam FTA :

NO	KETERANGAN
G1	Top level event
G2	Intermediate event
G3	Basic event
1	Kerusakan tiang
2	Kerusakan kabel
3	Kerusakan isolator
4	Kerusakan pada pelebur (fuse cut out)
5	Kerusakan pada penangkal petir
6	Kerusakan jumper
7	Kerusakan relay
8	Kerusakan konektor
9	Kerusakan pemutus saklar (PMS)
10	Gangguan alam
11	Gangguan manusia
12	Gangguan material
13	Kesalahan instalasi
x	Pemadam listrik

4.1.4 Penentuan Minimal Cut Set

Minimal Cut Set merupakan kumpulan dari basic event atau kombinasinya. Jika event terjadi secara bersamaan maka secara pasti Top Level Event akan terjadi. Penentuan minimal Cut Set didasarkan pada gambar pohon kesalahan.

Berikut penjabaran seluruh kejadian yang terjadi berdasarkan pohon kesalahan, yaitu:

Top level event

$T = G1$

$G1 = G2 + G3$

$= [1+2+3+4+5+6+7+8] + [9+10+11+12]$

$G1 = 1+2+3+4+5+6+7+8+9+10+11+12$

Keterangan :

Kode 1	Kerusakan tiang
Kode 2	Kerusakan kabel
Kode 3	Kerusakan isolator
Kode 4	Kerusakan pada pelebur (fuse cut out)
Kode 5	Kerusakan pada penangkal petir
Kode 6	Kerusakan jumper
Kode 7	Kerusakan relay
Kode 8	Kerusakan konektor
Kode 9	Kerusakan pemutus saklar (PMS)
Kode 10	Gangguan alam
Kode 11	Gangguan manusia
Kode 12	Gangguan material
Kode 13	Kesalahan instalasi

4.2 Hasil Analisis

Hasil analisis dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) digunakan untuk menentukan minimal Cut Set yang berupa kumpulan kejadian dasar (*Basic Event*) penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik. Dari minimal Cut Set didapatkan kejadian dasar yang menjadi penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik, yaitu:

- Gangguan alam, Gangguan alam yang menyebabkan kerusakan jaringan distribusi dapat berupa: angin kencang, petir, banjir, dan hujan lebat. Permasalahan yang terjadi akibat gangguan alam yaitu: kerusakan kabel, dan tiang listrik, kerusakan penangkal petir, dan kerusakan konektor.
- Gangguan manusia, aktivitas manusia seringkali menyebabkan kerusakan jaringan distribusi listrik, aktivitas berupa bermain layang-layang, Pekerjaan pihak ke III, dapat menyebabkan kerusakan jaringan distribusi. menyebabkan tersangkut dan mati diatas kabel listrik, sehingga distribusi listrik terganggu.
- Gangguan komponen /material listrik biasanya terjadi karena mutu komponen yang dipakai dalam pendistribusian listrik tidak bagus, sehingga sering terjadi kerusakan jaringan distribusi listrik. material yang dipakai tersebut sudah lama, sehingga mudah keropos, patah, aus, ataupun patah.
- Kesalahan instalasi disebabkan karena pemasangan jaringan listrik yang dilakukan tidak sesuai dengan prosedur yang ditetapkan, atau pemasangan komponen tidak terikat dengan kencang, sehingga jaringan distribusi listrik mudah mengalami kerusakan.

V. PENUTUP

Berdasarkan hasil pengolahan data, penulis dapat mengambil kesimpulan yaitu Dari tabel 6 sampai 10 yaitu data gangguan 5 (lima) Penyulang yang ada pada Gardu Induk Sirimau, maka diketahui bahwa rata-rata gangguan jaringan yang terjadi paling banyak di bulan Januari – Desember tahun 2021, yaitu pada Penyulang Ahuru dengan jumlah gangguan 30. Selanjutnya pada Penyulang Karpan 1 dengan jumlah gangguan 18, Penyulang Karpan 2 14, Penyulang Manusela 6, dan Penyulang yang paling sedikit terjadi gangguan yakni penyulang Tantui Atas dengan jumlah gangguan hanya 3.

Sesuai dengan data tersebut maka data diolah dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*) mendapatkan analisis penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik, yaitu: Gangguan alam, Gangguan alam yang menyebabkan kerusakan jaringan distribusi dapat berupa: angin kencang, petir, banjir, dan hujan lebat. Permasalahan yang terjadi akibat gangguan alam yaitu: kerusakan kabel, dan tiang listrik, kerusakan penangkal petir, dan kerusakan konektor. Gangguan manusia, aktivitas manusia seringkali menyebabkan kerusakan jaringan distribusi listrik, aktivitas berupa bermain layang-layang, Pekerjaan pihak ke III, dan dapat menyebabkan kerusakan jaringan distribusi. menyebabkan tersangkut dan mati di atas kabel listrik, sehingga distribusi listrik terganggu. Gangguan komponen /material listrik biasanya terjadi karena mutu komponen yang dipakai dalam pendistribusian listrik tidak bagus, sehingga sering terjadi kerusakan jaringan distribusi listrik. material yang dipakai tersebut sudah lama, sehingga mudah keropos, patah, aus, ataupun patah. Kesalahan instalasi disebabkan karena pemasangan jaringan listrik yang dilakukan tidak sesuai dengan prosedur yang ditetapkan, atau pemasangan komponen tidak terikat dengan kencang, sehingga jaringan distribusi listrik mudah mengalami kerusakan.

Saran penulis untuk perbaikan kerusakan jaringan distribusi berupa pemeriksaan peralatan jaringan distribusi secara terjadwal, melakukan program pemeliharaan, program manajemen, dan program perencanaan distribusi guna meminimalisir gangguan yang terjadi secara internal maupun eksternal. Dan juga penambahan alat relay dan PMT untuk mengamati dan mendeteksi kerusakan jaringan distribusi lebih cepat dan tepat, pemasangan jaringan harus sesuai dengan prosedur yang ditetapkan. Kemudian untuk memperbaiki kualitas pelayanan dan mengurangi gangguan yang terjadi pada gardu induk, maka saran penulis yaitu pemeriksaan yang terjadwal dengan baik terhadap semua komponen di gardu induk, terutama pada kubikel di setiap penyulang yang ada pada gardu induk.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Duyo, R. A. (2020). "Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis i PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar". *Vertex Elektro*, Vol.12, No.02, Tahun 2020 (Agustus), 12, 1-12.
- [2] Nurida, Lida & Wrahatnolo, Tri. (2016). "Analisis Pengaruh Gangguan Beban Lebih Pada IBT Terhadap Kinerja OLS Di Subsistem Krian-Gresik". Vol.05 No.03,,Tahun 2016, 0 – 28.
- [3] Bastuti S. (2019). Analisis risiko kecelakaan kerja dengan metode fault tree analysis (FTA) untuk menurunkan tingkat risiko kecelakaan kerja. *TEKNOLOGI* 2(1): 48-52.
- [4] Abidin Pasaribu, S. (2017). Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Kontekstual Untuk Meremidiasi Miskonsepsi Pada Materi Gaya Dan Hukum Newton. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 4(2), 36–47.