

Analisis Resiko Kegagalan Jaringan Distribusi PLN Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis*

Ashar Hariadi¹, Idrus Termawut², Abd. Hafid³, Adriani⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar,

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail: asharhariadiashar@gmail.com¹, idrusterawut3@gmail.com², abdulhafid@unismuh.ac.id³, adriani@unismuh.ac.id⁴

Abstract

The world of industry and technology has a role in maintaining the continuity of economic activity and people's daily life. One of the important roles in this regard is electricity, therefore an electric power system is needed that can distribute electrical energy properly to consumers. The distribution of electrical energy in question is the distribution from generators to consumers who need electricity, such as households, industries and so on. However, in the distribution process sometimes there are interruptions or failures in the electricity distribution. Therefore, analysis of the risk of failure of the power distribution network is very important to identify the factors that cause failure and minimize the possibility of failure. Fault Tree Analysis (FTA) is an analytical method used to identify, analyze, and visualize the causes of failure or damage to complex systems. This is the background of this research.

Abstrak

Intisari— Dunia industri dan teknologi memiliki peran dalam menjaga kelangsungan kegiatan ekonomi dan kehidupan sehari-hari masyarakat. Salah satu peran penting dalam hal ini adalah Listrik, oleh karena itu, sistem tenaga listrik yang dapat menyalurkan energi listrik dengan baik kepada konsumen. Distribusi energi listrik yang dimaksud adalah distribusi dari pembangkit ke konsumen yang membutuhkan listrik, seperti rumah tangga, industri dan sebagainya. Namun, dalam proses distribusi, terkadang terjadi kerusakan atau kegagalan distribusi listrik. Oleh karena itu, analisis risiko kegagalan jaringan distribusi daya sangat penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan dan meminimalkan kemungkinan kegagalan. Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memvisualisasikan penyebab kerusakan pada sistem yang kompleks. Inilah latar belakang penelitian yang dilakukan ini.

Kata Kunci— Resiko Kegagalan, Jaringan Distribusi, Fault Tree Analysis

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia industri dan teknologi, listrik merupakan hal yang sangat penting karena memainkan peran kunci dalam menjaga kelangsungan kegiatan ekonomi dan kehidupan sehari-hari masyarakat. Oleh karena itu, ketersediaan energi listrik yang stabil dan andal sangat terluka, oleh karena itu, sistem tenaga listrik yang dapat memberikan energi listrik dengan baik kepada konsumen. Kegagalan jaringan distribusi listrik dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti cuaca buruk, kecelakaan, kerusakan peralatan, dan banyak lagi. Hal ini berdampak pada memburuknya kualitas pelayanan kepada masyarakat [1]. Oleh karena itu, analisis risiko kegagalan jaringan distribusi listrik sangat penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan dan meminimalkan kemungkinan kegagalan. Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memvisualisasikan penyebab kegagalan atau kerusakan pada sistem yang kompleks. FTA digunakan untuk menganalisis kegagalan di bidang-bidang seperti industri, dimulai dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari peristiwa teratas kemudian merinci penyebab Top Event hingga kegagalan dasar atau akar penyebab [2]. Dengan menganalisis risiko kegagalan jaringan distribusi listrik menggunakan metode FTA, dapat diidentifikasi faktor-faktor risiko yang menyebabkan kegagalan, sehingga tindakan pencegahan dapat diambil untuk meminimalkan kemungkinan kegagalan. Analisis risiko kegagalan jaringan distribusi listrik juga dapat membantu dalam perencanaan dan pengambilan keputusan yang tepat dalam mengelola dan meningkatkan jaringan distribusi listrik.

II. TINJUAN PUSTAKA

A. Pengertian Resiko

Risiko adalah kemungkinan suatu peristiwa yang mempengaruhi pencapaian tujuan organisasi. Jika risiko menimpa suatu organisasi, itu dapat berdampak negatif pada organisasi. Dalam situasi terburuk, risiko dapat mengakibatkan kehancuran organisasi [3].

B. Manajemen Resiko

Manajemen risiko adalah pendekatan terorganisir untuk menemukan potensi risiko sehingga dapat mengurangi terjadinya hal-hal yang tidak diharapkan. Manajemen risiko harus dilakukan sedini mungkin dengan dukungan ini [4]. Proses manajemen risiko mencakup beberapa langkah, yaitu:

1. Identifikasi Resiko
2. Klasifikasi Resiko
3. Evaluasi Resiko

4. Pengembangan Strategi Pengelolaan Resiko
5. Implementasi Strategi Pengelolaan Resiko

C. Pengertian Jaringan Distribusi Listrik

Jaringan distribusi listrik adalah sistem jaringan yang digunakan untuk mendistribusikan listrik dari stasiun transformator utama ke konsumen akhir seperti rumah, bangunan, dan industri. Jaringan distribusi terdiri dari berbagai komponen, termasuk kabel listrik, transformator distribusi, *switchgear*, pengaman listrik, dan perangkat lainnya yang digunakan untuk mengatur aliran listrik dan memastikan ketersediaan listrik yang stabil dan aman [5].

D. Distribusi Tenaga Listrik

Umumnya sistem tenaga listrik yang lengkap memiliki empat elemen yaitu pertama, adanya unsur pembangkit listrik. Tegangan yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik biasanya tegangan menengah (TM). Yang kedua adalah sistem transmisi, lengkap dengan gardu induk. Karena jaraknya biasanya panjang, maka perlu menggunakan tegangan tinggi (TT), atau tegangan ekstra tinggi (TET). Ketiga, ada saluran distribusi yang biasanya terdiri dari saluran distribusi primer tegangan menengah (TM) dan saluran distribusi sekunder dan tegangan rendah (TR) [6].

E. Pusat Pembangkit Listrik (Power plant center)

Pertama kali energi listrik dihasilkan, di mana ada turbin sebagai penggerak utama dan generator yang menghasilkan listrik [7]. Pembangkit listrik adalah fasilitas atau instalasi yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Peralatan utama di gardu induk meliputi: transformator, yang berfungsi untuk menaikkan tegangan generator (11,5 kV) ke tegangan/tegangan transmisi tinggi (150 kV) serta peralatan keselamatan dan peraturan.

F. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi Tenaga Listrik adalah proses penyaluran tenaga listrik antara pusat pembangkit dan gardu induk atau proses penyaluran listrik dari pembangkit listrik ke saluran distribusi tenaga listrik (gardu distribusi) sehingga dapat disalurkan ke konsumen yang menggunakan tenaga listrik [8]. Tegangan kerja pada bagian sistem transmisi adalah sebagai berikut:

1. Tegangan transmisi: 220; 400; 500; 750; 765; 800 kV dan seterusnya. Indonesia: 150; 500 kV.
2. Sub-tegangan transmisi: 33; 66; 110; 132 kV dll.

G. Sistem Distribusi

Ini adalah sub-sistem terpisah yang terdiri dari: Pusat Kontrol (DCC), saluran tegangan menengah (6 kV dan 20 kV, juga dikenal sebagai tegangan distribusi primer) yang merupakan kabel overhead atau kabel ground. Gardu distribusi tegangan menengah terdiri dari panel pengatur tegangan menengah dan trafo hingga panel distribusi tegangan rendah (380 V dan 220 V) yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jaringan bagi konsumen industri dan rumah tangga.

1. Sistem Jaringan Distribusi
Sistem jaringan distribusi ini dapat dikelompokkan menjadi dua tingkatan [9], yaitu:
 - a) Sistem jaringan distribusi *primer*
 - b) Sistem jaringan distribusi *sekunder*
2. Komponen Jaringan Distribusi

Gardu Induk didefinisikan sebagai sub sistem dari sistem distribusi tenaga listrik, atau merupakan bagian Tidak terpisahkan dari sistem transmisi. Pada bagian ini, jika sistem distribusi tenaga listrik dilakukan secara langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi daya adalah Pusat Pembangkit Listrik dan umumnya terletak di pinggiran kota [10]. Untuk menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban (konsumen) dilakukan oleh jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. Jika sistem distribusi tenaga listrik dilakukan secara tidak langsung, maka bagian pertama dari sistem distribusi tenaga listrik adalah gardu induk yang berfungsi untuk mengurangi tegangan jaringan transmisi dan menyalurkan listrik melalui jaringan distribusi primer

3. Proteksi Jaringan Distribusi
Tujuan dari sistem perlindungan dalam sistem distribusi adalah untuk mengurangi gangguan selama mungkin karena hambatan distribusi daya listrik dan memberikan perlindungan optimal bagi operator. Sistem perlindungan dalam jaringan distribusi adalah sebagai berikut:
 - a) Relai pembumian dan relai hubung singkat fase memungkinkan konduktor untuk membumi dan antar konduktor gagal. Recloser Otomatis (Sakelar Bagian Otomatis atau PBO), Sectionaizer Otomatis (Sakelar Bagian Otomatis atau SSO).
 - b) LA (Lightning Arrester) sebagai proteksi terhadap peningkatan tegangan peralatan akibat surfing petir.
 - c) Pembumian bagian konduktif terbuka serta bagian konduktif ekstra pada masing-masing dari 4 kutub atau pertimbangan lain dengan nilai pembumian tidak melebihi 10 Ohm.
 - d) kawat pelindung (ground wire) untuk mengurangi interferensi dari sambaran petir langsung. Peletakan kawat tanah dapat dipasang pada SUTM di area terbuka yang padat dengan petir.
 - e) FCO (Fuse Cut Out) untuk digunakan pada gardu distribusi dan percabangan jaringan..
 - f) Arching Horn (Tanduk Melengkung)

H. Kegagalan Operasi Jaringan Distribusi

Dalam menetapkan kegagalan suatu sistem dapat dilakukan melalui pengujian dengan cara perhitungan dan analisis tingkat keberhasilan kinerja atau pelaksanaan sistem yang ditinjau untuk jangka waktu atau waktu tertentu [5]. Kegagalan adalah kelainan pada sistem tenaga listrik yang menyebabkan ketidakseimbangan dengan arus yang mengalir dalam sistem. Faktor-faktor yang mempengaruhi indeks kegagalan dalam sistem distribusi menurut standar IEEE P1366 meliputi:

1. Pemadaman / Gangguan Pasokan. Penghentian layanan kepada satu atau lebih konsumen, sebagai akibat dari satu atau lebih komponen yang terganggu.
2. Keluar. Mati. Keadaan di mana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, disebabkan oleh beberapa peristiwa yang terkait dengan komponen itu.
3. Durasi Pemadaman. Jangka waktu dari saat komponen mulai keluar hingga dapat dioperasikan kembali sesuai fungsinya.
4. Durasi pemadaman / interupsi yang lama. Waktu dari saat pemadaman dimulai hingga dimulai ulang. Total jumlah pelanggan yang dilayani menurut periode pelaporan terakhir.
5. Periode laporan Gangguan hamper selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke tanah. Periode pelaporan diasumsikan satu tahun.

I. Konsep FTA (Fault Tree Analysis)

Metode FTA (Fault Tree Analysis) adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berperan dalam kegagalan. [12] Metode ini dilakukan dengan pendekatan top down, yang dimulai dengan asumsi kegagalan dari peristiwa puncak dan kemudian merinci penyebab peristiwa puncak hingga kegagalan dasar (root cause).

FTA adalah metode analisis deduktif untuk mengidentifikasi kerusakan pada sistem dengan menggambarkan kejadian alternatif dalam diagram blok terstruktur. Analisis deduktif dapat dilakukan pada sistem yang kompleks.

Titik awal analisis FTA adalah identifikasi mode kegagalan di tingkat atas suatu sistem. Pohon kegagalan menggambarkan keadaan komponen sistem (Basic Event) dan hubungan antara kejadian dasar dan kejadian teratas. Mengekspresikan hubungan ini disebut gerbang logika. Dari diagram pohon kesalahan ini dapat disusun cut set dan cut set minimum. Cut set merupakan rangkaian komponen sistem, jika terjadi kegagalan dapat mengakibatkan kegagalan sistem.

Sedangkan Cut Set minimum adalah set minimum yang dapat menyebabkan kegagalan sistem. FTA menggunakan langkah-langkah terstruktur dalam melakukan analisis sistem. Langkah-langkah FTA adalah:

1. Mengidentifikasi Kejadian/Kejadian Terpenting dalam Sistem (Top Level Event)
2. Membuat Pohon Kegagalan
3. Menganalisis Pohon Kegagalan

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di wilayah Unit Pelayanan Pelanggan Kabupaten Bantaeng pada tanggal 21 juli 2023 – 27 juli 2023 setelah seminar Proposal untuk mengetahui kondisi dan situasi sistem jaringan distribusi tenaga listrik. Unit Pelayanan pelanggan Kabupaten Bantaeng.

B. Alat dan Bahan

Untuk penelitian menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA). Berikut adalah beberapa yang di gunakan adalah sebagai berikut:

1. Alat
 - a) Alat Dokumentasi (hp)
 - b) Alat Mengolah Data (Komputer dan Perangkat Lunak).
 - c) Alat tulis (Kertas dan bulpen)
2. Bahan
 - a) Historis gangguan Bulan Januari – Desember 2022
 - b) single line

C. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kualitatif. Metode Penelitian Kualitatif dapat diartikan sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti objek yang alamiah, di mana peneliti sebagai instrumen kunci.

D. Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Literatur

2. Metode Observasi
3. Metode Interview (Wawancara)

E. Pengelolaan Data

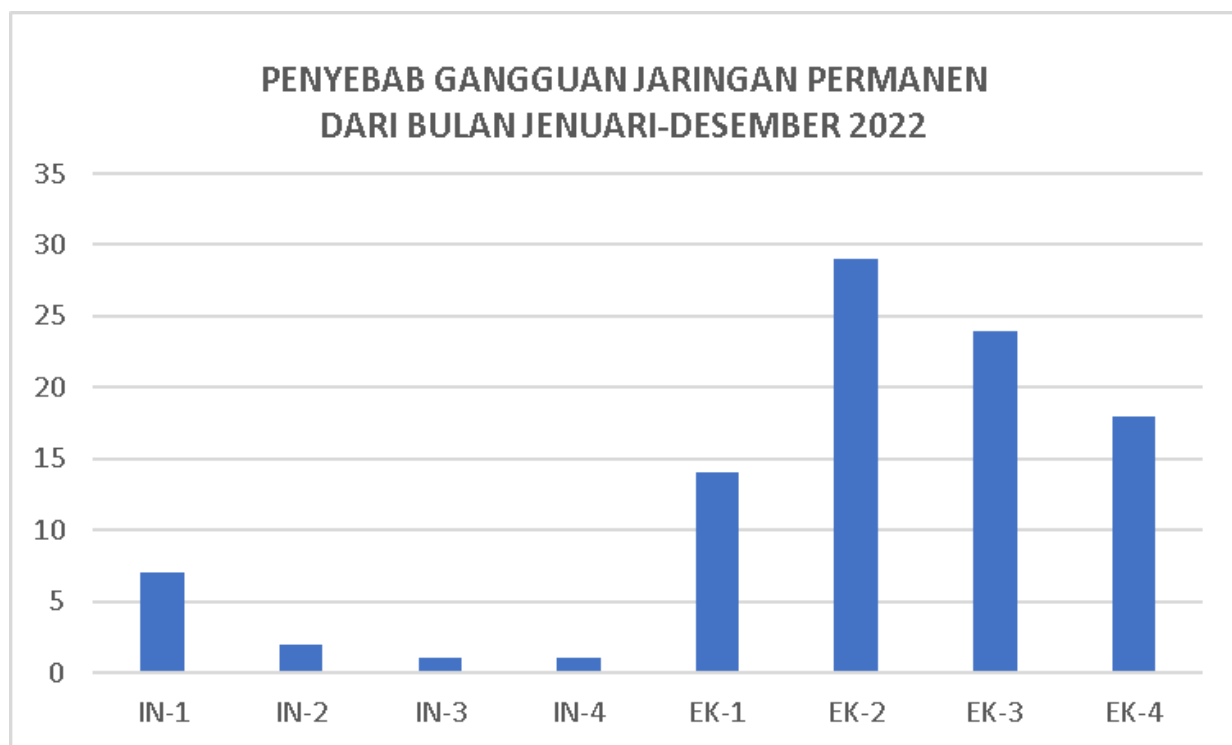
Pengelolaan data adalah segala macam pengelolaan data atau gabungan dari berbagai macam pengelolaan data agar data yang berguna sesuai dengan hasil yang diinginkan dan dapat segera digunakan. Pengolahan data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah FTA (Fault Tree Analysis), tahapan FTA digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab kegagalan sistem. Namun dalam pelaksanaannya, FTA dapat memerlukan pengumpulan dan pengolahan data yang akurat untuk membangun pohon kegagalan. Pada tahap ini akan dilakukan analisis lebih lanjut mengenai akar penyebab permasalahan yang paling mempengaruhi kegagalan jaringan distribusi tenaga listrik dengan menggunakan FTA (Fault Tree Analysis). FTA menggunakan analisis deduktif mengidentifikasi basic events, yaitu kejadian-kejadian kecil yang dapat menyebabkan kegagalan sistem. Data yang diperlukan meliputi informasi tentang peralatan sistem, kondisi operasional, kejadian-kejadian kegagalan yang pernah terjadi, dan faktor-faktor lainnya yang dapat mempengaruhi sistem. Tahapan FTA adalah:

1. Identifikasi Kesalahan dalam Sistem
2. Penciptaan Pohon Kesalahan
3. Menentukan kombinasi *minimal cut set* (akar permasalahan)
4. Mengidentifikasi penyebab kerusakan sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Diagram digunakan untuk membandingkan berbagai kategori penyebab gangguan yang disusun berdasarkan gangguan internal dan gangguan eksternal, dan gangguan yang paling sering terjadi disebabkan oleh gangguan eksternal yang berada di sebelah kanan dan yang kecil berada di sebelah kiri digunakan kode IN dan EK. Susunan tersebut akan membantu kita untuk menentukan pentingnya sebab-sebab gangguan yang terjadi. Adapun gambar penyebab kegagalan jaringan distribusi permanen dan temporer dibawah ini :



Gbr. 1 Diagram Penyebab Kegagalan Jaringan Distribusi Permanen



Gbr. 2. Diagram Penyebab Kegagalan Jaringan Distribusi Temporer

Keterangan:

In-1: Komponen Jtm

In-2: Peralatan Jtm

In-3: Trafo Dan Lainnya

In-4: Tiang

Ek-1: Bencana Alam

Ek-2: Pohon

Ek-3: Pekerjaan Pihak Ke 3/Binatang

Ek-4: Layang-layang/Dll

Pada Gbr. 1 dapat di ketahui bahwa jumlah rata-rata penyebab kegagalan distribusi listrik yang terjadi secara permanen pada internal Unit layanan pelanggan Royan Bantaeng yang di sebabkan oleh komponen JTM yakni sebanyak 7 gangguan sejak jenuari samapai desember 2022. Sedangkan rata-rata kegagalan distribusi listrik yang terjadi secara permanen pada ekstrnal Unit pelayan pelanggan Royan Bantaeng di sebabkan oleh pohon yakni sebanyak 29 gangguan.

Dari Gbr. 2 menunjukan bahwa kegagalan distribusi yang di sebabkan oleh gangguan temporer dari segi internalnya, rata-rata kegagalan distribusi di sebabkan oleh travo dan lainnya yakni sebanyak 13 gangguan, terjadi pada bulan jenuari sampai desember 2022. Sedangkan kegagalan distribusi yang terjadi pada sisi eksternalnya yang terjadi secara temporer paling banyak di sebabkan oleh layang-layang dan lain-lain yaitu sebanyak 171 gangguan.

Berdasarkan Gbr. 1 dan 2 maka dapat di peroleh data bahwa penyebab kegagalan distribusi listrik yang paling sering terjadi sejak bulan jenuari 2022 sampai Desember 2022 yaitu di sebabkan oleh gangguan temporer khususnys dari segi eksternal sebanyak 300 gangguan.

B. Pengolahan Data

Langkah awal dalam penyusunan diagram kesalahan adalah identifikasi letak gangguan pada sistem jaringan distribusi dengan melibatkan semua komponen dalam sistem distribusi listrik, dimulai dari gardu induk sampai ke jaringan tegangan rendah untuk mencari kemungkinan penyebab kegagalan. Secara umum, penyebab kegagalan jarngan distribusi listrik disebabkan karena kerusakan peralatan yang dipakai dalam proses distribusi listrik, sedangkan kerusakan peralatan distribusi dapat disebabkan karena gangguan alam, gangguan binatang, gangguan manusia, gangguan material yang dipakai, atau kesalahan instalasi jaringan distribusi. Hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gbr. 3. Penyebab dan akibat secara umum dari gangguan jaringan distribusi listrik

Pada gambar 3 dapat diketahui bahwa gangguan jaringan merupakan faktor yang menyebabkan kegagalan jaringan distribusi listrik. Kegagalan jaringan tersebut dapat terjadi karena gangguan Trafo, peralatan JTM, Komponen JTM, Bencana Alam, Tiang, Pohon, Pekerjaan pihak ke 3/binatang, layang-layang/Dll atau karena kesalahan instalasi jaringan distribusi listrik. sedangkan akibat dari kerusakan jaringan distribusi secara umum adalah adanya pemadaman listrik walaupun hanya sementara sampai kerusakan tersebut dapat di perbaiki. Untuk mengetahui karakteristik penyebab kegagalan, maka akan di identifikasi gangguan - gangguan tersebut berdasarkan letaknya pada jaringan distribusi listrik.

Identifikasi letak gangguan yang menyebabkan kegagalan jaringan distribusi listrik dapat di liat pada tabel 1 berikut ini.

TABEL I
IDENTIFIKASI LETAK, PENYEBAB, DAN AKIBAT KEGAGALAN
JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK

Letak Kerusakan	Komponen Rusak	Resiko Kegagalan	Penyebab Kegagalan
Gardu Induk	Saklar Pemutus Tenaga (PMT)	Komponen Tidak terikat 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
	Isolator	Isolator Rusak	Gangguan Komponen
	Pelebur	Pelebur Bocor	Kesalahan Instalasi
	Penangkal Petir	Penangkal Petir Rusak	Gangguan Alam
Trasformator Distribusi	Traformator	Jamperan trafo rusak	Gangguan Komponen
		Tranformator Rusak	Gangguan Komponen
Jaringan tegangan renda (JTR)	Reley	Hubungan Singkat	Gangguan Alam
			Gangguan Binatang

			Gangguan Manusia
	Konektor	Konektor Tidak Stabil	Gangguan Alam

Sumber: Data Diolah 2022

Pada tabel 1 dapat diketahui letak kegagalan jaringan distribusi listrik untuk semua komponen yang ada dalam sistem jaringan distribusi listrik dapat berupa saklar PMT dan PMS, isolator, konektor, pelebur, penangkal petir, MCB/fuse out, dan lain-lain. hasil dari karakterisasi ini, kemudian akan dibuat pohon kegagalan. Analisis kegagalan Dalam Sistem Jaringan Distribusi Listrik (Undisired Event).

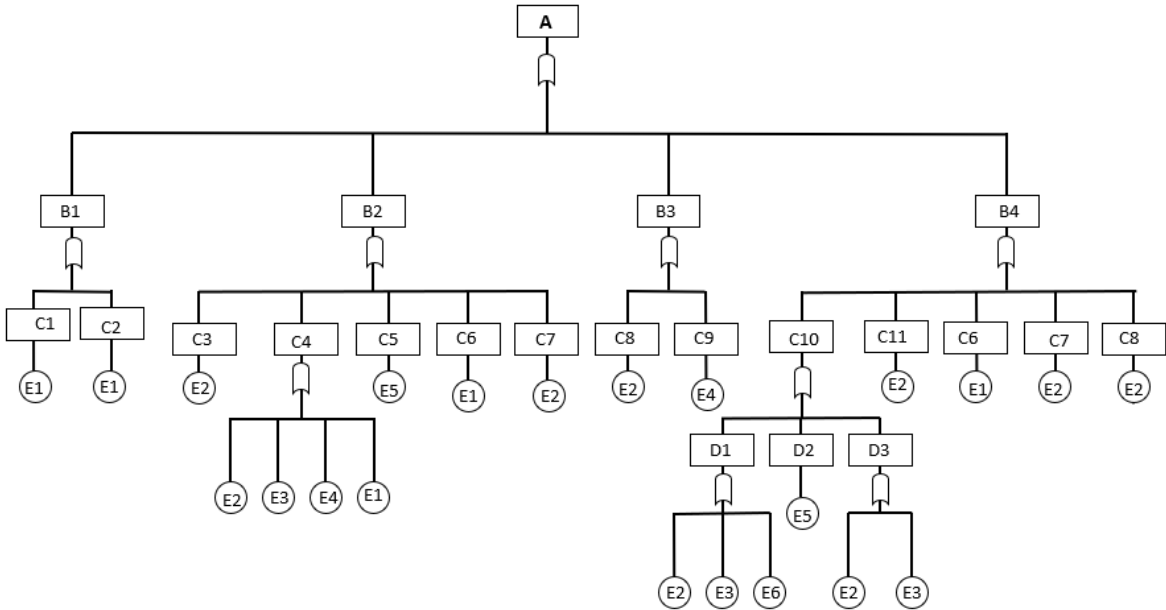
C. Menggambar Pohon kegagalan Berdasarkan Identifikasi Sistem Jaringan Distribusi.

Gambar pohon kegagalan 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 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 4 dibawah ini.

Gbr. 4 Pohon Kegagalan (Fault Tree)

Berdasarkan fault tree di atas maka angka dalam gambar fault tree dapat di lihat pada tabel 2 di bawah ini.

TABEL III



DESKRIPSI HURUF DAN ANGKA FAULT TREE

No	Notasi	KETERANGAN
1	A	Kerusakan system jaringan distribusi
2	B1	Kerusakan pada gardu induk
3	B2	Kerusakan pada jaringan tegangan menengah (JTM)
4	B3	Kerusakan pada jaringan tegangan renda (JTR)
5	B4	Kerusakan pada transformator distrubusi
6	C1	Kerusakan pada saklar pemutus (PMT)
7	C2	Kerusakan pada saklar pemisah (PMS)
8	C3	Kerusakan tiang
9	C4	Kerusakan kabel
10	C5	Kerusakan isolator
11	C6	Kerusakan pelebur (fuse cut out)
12	C7	Kerusakan penangkal petir
13	C8	Kerusakan jumper
14	C9	Kerusakan transformator
15	C10	Kerusakan relay
16	C11	Kerusakan conektor
17	D1	Kerusakan relay GFR (ground fault relay)
18	D2	Kerusakan relay UFR (under frequency relay)

19	D3	Kerusakan <i>relay</i> OCR (<i>over current relay</i>)
20	E1	Kesalahan instalasi
21	E2	Gangguan alam
22	E3	Gangguan manusia
23	E4	Gangguan material yang di pakai
24	E5	Gangguan komponen
25	E6	Gangguan Binatang

Sumber: Data Diolah 2022

Berdasarkan hasil fault tree maka tahap selanjutnya ialah menentukan minimal cut set. Cut set adalah kombinasi yang membantu pohon kegagalan/FTA dan jika semua cut set terjadi maka akan menyebabkan kejadian puncak. Setelah menentukan cut set maka kita harus menentukan minimal cut set yang berarti set minimal atau cut set yang telah habis direduksi sehingga tidak dapat dicari tanpa mengubah arti dari cut set aslinya. Cut set dan minimal cut set didapatkan menggunakan MOCUS (Method for Obtaining Cut Sets) dengan menerapkan Hukum Aljabar Boolean.

Pertama, menganalisis lebih lanjut basic event yang mengarah ke top event dengan mencari minimal cut set yang didapat dari hasil analisis menggunakan hukum aljabar Boolean dengan sifat distributif. Notasi dari aljabar Boolean yang digunakan untuk gerbang OR (OR gate) adalah penjumlahan yang disimbolkan dengan (+) sedangkan untuk gerbang AND (AND gate) adalah perkalian yang dilambangkan dengan (.)

TABEL III
CUT SET MENGGUNAKAN AL JABAR *BOOLEAN*

A	= B1.B2. B. B4.	C6	= E1
B1	= C1.C2.	C7	= E2
B2	= C3. C4. C5. C6. C7	C8	= E2
B3	= C8. C9	C9	= E4
B4	=C10. C11. C6. C7.C8.	C10	= D1. D2. D3
C1	= E1	C11	= E2
C2	= E1	D1	= E2 +E3 +E6
C3	= E2	D2	= E6
C4	= E1+E2+ E3+ E4.	D3	= E2 +E3
C5	= E5		

Setelah menentukan cut set menggunakan hukum aljabar Boolean seperti tabel di atas, maka kita dapat melakukan kombinasi event sehingga hasil akhirnya sudah tidak dapat direduksi/disederhanakan kembali. Hasil akhir kombinasi event yang ditemukan nanti merupakan kejadian utama penyebab kejadian puncak. Adapun kombinasi event yang dilakukan adalah sebagai berikut:

$T = A$

$T = B1. B2. B4. B4$

= (C1. C2). (C3. C4. C5.C6. C7). (C8. C9). (C10. C11.C6. C7. C8)
= (E1). (E1). (E2). (E1+E2+E3+E4). (E5). (E1). (E2). (E2). (E4)
= (D1.D2.D3)
= (E2+E3+E6). (E6). (E2+E3)

Setelah semua kejadian dijabarkan, maka didapatkan minimal cut set sebagai berikut: $E1+E2+E3+E4+E5+E6$

Keterangan:

1. Gangguan alam (Notasi E2)
2. gangguan manusia (notasi E3)
3. Gangguan binatang (notasi E6)
4. Gangguan komponen (notasi E5)
5. gangguan material (notasi E4)
6. kerusakan intalasi (notasi E1)

Dari hasil data kombinasi event menggunakan hukum aljabar Boolean di atas didapatkan 6 minimal cut set. Pada grafik FTA (Fault Tree Analysis) sebelumnya didapatkan 6 basic event.

D. Mengidentifikasi Penyebab Kerusakan pada Sistem

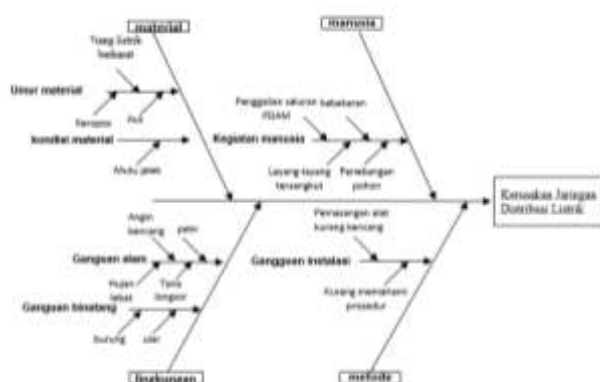
Penyebab kerusakan sistem diidentifikasi dengan menggunakan cause and effect diagram (ishikawa) untuk mencari keterkaitan antara kerusakan dan kemungkinan penyebab kerusakan. Cause effect diagram di lakukan setelah mengidentifikasi penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik di bagi menjadi empat katagori yaitu: manusia, material, metode, dan lingkungan. Pengelompokan penyebab gangguan berdasarkan katagori- katagori tersebut dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

TABEL IV
FAKTOR PENYEBAB GANGGUAN BERDASAKAN MANUSIA,
MATERIAL, METODE, LINGKUNGAN.

No	Factor penyebab	Penyebab Gangguan	Keterangan
1	Manusia	Kegiatan manusia	Pada tabel 5 di atas dapat di ketahui bahwa penyebab kerusakan jaringan distribusi yaitu jenis kerusakan dari komponen jaringan distribusi listrik sebagai berikut:
2	Material	Umur material	Umur material sangat berpengaruh terhadap performe system jaringan distribusi listrik. Gangguan dapat terjadi karena umur material yang sudah tua yang dapat menyebabkan kabel tidak terikat dengan kencang dengan tiang, tiang listrik berkarat, kropos dan aus sedangkan komponen yang sudah using semakin turun performanya.
		Kondisi material	Penggunaan material atau komponen dengan kualitas rendah atau cacat dapat mengurangi efisiensi dan keandalan jaringan distribusi listrik.
3	Metode	Gangguan instalasi	Metode pemeliharaan yang tidak tepat atau tidak terjadwal dapat menyebabkan kelalaian dalam mendeteksi potensi masalah yang mengarah pada gangguan.
		Kurangnya Pengawasan	Kurangnya pengawasan terhadap proses operasional dan peralatan dapat mengakibatkan metode kerja yang buruk dan berkontribusi pada gangguan.
4	Lingkungan	Gangguan alam	Cuaca ekstrem, seperti badai, petir, atau gempa bumi, dapat merusak infrastruktur listrik dan menyebabkan gangguan.
		Gangguan binatang	Hewan yang berkontak langsung dengan peralatan listrik, seperti burung atau hewan pengerat, dapat menyebabkan gangguan atau bahkan korsleting.

Sumber: Data Diolah 2022

Setelah penyebab kegagalan jaringan distribusi di kelompokkan, Langkah selanjutnya adalah membuat cause effent diagram. gambar cause effent diagram dapat di lihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gbr. 4 cause effect diagram kerusakan jaringan distribusi listrik

Pada gambar cause effect diagram, kerusakan jaringan di sebabkan oleh empat factor, yaitu: manusia (pengalihan saluran PDAM, penebangan pohon, layang-layang tersangkut, dan kebakaran) meteial (tiang listrik kropos, aus, berkarat, dan mutu komponen listrik rendah), metode (pemasangan peralatan jaringan distribusi yang tidak sesuai dengan prosedur dan pemasangan komponen yang kurang kencang), serta lingkungan (gangguan alam dan Binatang). Setelah mengetahui factor penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik Langkah selanjutnya mencari penyebab kerusakan jaringan distribusi listrik.

Output dari fault tree yang berupah besic event kemudian di analisa untuk mengetahui jenis kerusakan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi listrik. Kerusakan berdasarkn basic event output fault tree dapat di liat pada tabel berikut.

TABEL V
KUMPULAN BASIC ITEM

Notasi	Penyebab kerusakan	Komponen rusak
E3	Gangguan manusia	Kabel listrik <i>Relay</i>
E1	Gangguan instalasi	Saklar PMT dan PMS Kabel listrik Pelebur
E5	Gangguan Komponen	<i>Isolator</i> <i>Relay</i>
E4	Gangguan material	Kabel listrik
E2	Gangguan Alam	Tiang listrik Kabel listrik Penangkal petir <i>Jamper</i> <i>relay</i> <i>Konektor</i>
E6	Gangguan binatang	<i>Relay</i>

Sumber: Data Diolah 2022

Pada tabel 5 di atas dapat di ketahui bahwa penyebab kerusakan jaringan distribusi yaitu jenis kerusakan dari komponen jaringan distribusi listrik sebagai berikut:

1. Isolator
2. Kabel listrik
3. Trasformator
4. Konektor
5. Jamper
6. Relay
7. Tiang listrik
8. Penangkal petir
9. Saklar PMT dan PMS
10. Pelebur

Identifikasi akibat kerusakan kerusakan pada sistem setelah kita mengetahui kerusakan jaringan yang terjadi. Secara umum akibat dari semua kerusakan jaringan adalah di padamkannya aliran listrik untuk sementara sampai selesai di perbaiki jaringan listrik yang mengalami kerusakan, tetapi identifikasi akibat kerusakan jaringan sebelum pemadaman di lakukan perlu di ketahui. Akibat kerusakan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

TABEL VI
AKIBAT KERUSAKAN JARINGAN SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI

Notasi	Kerusakan	Akibat kerusakan
C3	Kerusakan tiang listrik	Pemadaman listrik Tiang listrik kropos
C4	Kerusakan kabel listrik	Hubungan singkat Pemadaman Kabel kendor
C7	Kerusakan Penangkal petir	Hubungan singkat Pemadaman listrik
C11	Kerusakan <i>conektor</i>	<i>conektor</i> kurang kencang
C8	Kerusakan <i>jumper</i>	Pemadaman listrik
C10	Kerusakan <i>relay</i>	Tegangan tidak stabil
C5	Kerusakan isolator	Baut listrik kendor <i>Isolator</i> pecah
C9	Kerusakan <i>trasformator</i>	Trafo terbakar
C1,C2	Kerusakan Saklar PMT dan PMS	Tegangan listrik yang di kirim tidak terkendali
C6	Kerusakan pelebur (fuse cut out)	Tegangan tidak stabil

Sumber: Data Diolah 2022

Setelah mengetahui akibat kerusakan pada Sistem jaringan distribusi listrik, Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi sebab-sebab kerusakan pada system jaringan distribusi listrik.

E. Mengidentifikasi pengendalian Resiko pada sistem jaringan distribusi listrik.

Identifikasi terhadap pengendalian Resiko di lakukan untuk mengantisipasi agar kerusakan jaringan tidak terjadi. Metode pengendalian kerusakan pada sistem jaringan distribusi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

TABEL VII
METODE PENGENDALIAN RESIKO KERUSAKAN JARINGAN DISTRIBUSI LISTRIK

Notasi	Kerusakan komponen	Jenis kerusakn	Pengendalian Resiko
C3	Kerusakan tiang	Tiang listrik roboh	Pemasangan tiang listrik yang tahan dari longsor dan bajir. gunakan bahan tiang listrik yang berkualitas tinggi dan kuat, sesuai dengan standar yang berlaku. Tiang yang kokoh dan tahan terhadap kondisi cuaca ekstrem dapat mengurangi risiko roboh. Jika pohon tumbuh di sekitar tiang listrik, pastikan pemeliharaan pohon dilakukan secara teratur untuk menghindari risiko akar merusak pondasi tiang. Di daerah yang sering dilanda angin kencang, pertimbangkan pemasangan perlindungan atau perangkat penahan angin pada tiang listrik
		Hubungan singkat	Penebangan pohon besar yang dekat dengan tiang listrik
		Tiang kropos	Pengunaan bahan yang tidak mudan berkarat seperti tiang beton
C4	Kerusakan kabel	Kabel listrik putus	Penebangan pohon yang melebihi jaringan
		Kabel listrik kendur	Penebangan pohon yang melebihi jaringan
		Hubungan singkat	Penebangan pohon yang melebihi jaringan
C7	Kerusakan Penangkal petir	Penangkal petir meledak	Pastikan <i>grounding</i> atau sistem pengaman tanah terhubung dengan baik dan memiliki <i>resistansi</i> rendah. <i>Grounding</i> yang baik membantu mengalirkan arus petir ke tanah dengan aman.
		Hubungan singkat	Pasang perangkat proteksi arus lebih (<i>overcurrent protection</i>) pada sistem penangkal petir untuk menghindari lonjakan arus yang dapat menyebabkan hubungan singkat.
C11	Kerusakan <i>conektor</i>	<i>Conektor</i> lepas	Pastikan <i>konektor</i> dikencangkan dengan benar, tetapi jangan terlalu berlebihan karena dapat merusak konektor atau komponen lainnya dan Lakukan perawatan rutin pada <i>konektor</i> , termasuk pemeriksaan kekencangan, penggantian sekrup atau baut jika perlu, dan pembersihan.
C8	Kerusakan <i>jumper</i>	<i>Jamper</i> putus	Lakukan pemeliharaan rutin pada jumper, termasuk pembersihan, pemeriksaan kekencangan terminal, dan penggantian Gunakan perlindungan fisik seperti selubung atau pelindung yang sesuai untuk melindungi jumper dari kerusakan mekanis atau paparan lingkungan yang buruk. jika diperlukan dan
C10	Kerusakan <i>relay</i>	tegangan tidak stabil	Gunakan <i>relay</i> tegangan yang sesuai dengan kebutuhan sistem dan memiliki toleransi terhadap fluktuasi tegangan yang mungkin terjadi. Gunakan <i>filter</i> tegangan atau perangkat stabilisasi tegangan untuk menjaga tegangan input ke <i>relay</i> tetap stabil. Pasang perangkat perlindungan dari <i>transien</i> (<i>surge protector</i>) untuk melindungi <i>relay</i> dari lonjakan tegangan yang tidak terduga. Lakukan pemeliharaan rutin pada relay, termasuk pemeriksaan visual dan pengujian fungsional, untuk memastikan bahwa <i>relay</i> masih berfungsi dengan baik dalam kondisi yang stabil.
C5	Kerusakan <i>isolator</i>	<i>Isolator</i> pecah	Gunakan <i>isolator</i> berkualitas tinggi yang tahan terhadap tekanan, getaran, dan kondisi lingkungan yang keras. <i>Isolator</i> berkualitas baik umumnya lebih tahan lama dan dapat menghindari pecah. Lakukan pemeliharaan rutin pada isolator, termasuk inspeksi visual dan pengujian. Pemeliharaan ini akan membantu mendeteksi tanda-tanda awal kerusakan
		Baut <i>Isolator</i> kendur	Pasang isolator dengan benar sesuai dengan panduan dan standar yang berlaku. Pastikan baut, mur, dan pengencang lainnya terpasang dengan kencang.
C9	Kerusakan trasformator	Trafo terbakar	Gunakan trafo yang memiliki kapasitas yang sesuai dengan beban yang akan ditangani. Pastikan juga trafo memiliki sistem pendingin yang memadai untuk menjaga suhu yang aman. Lakukan pemeliharaan rutin pada trafo, termasuk pemeriksaan visual, pengujian fungsional, dan pembersihan. Pemeliharaan yang baik dapat mendeteksi tanda-tanda awal masalah.
		Trafo rusak	Penggantian trafo yang mengalami kerusakan

C1,C2	Kerusakan Saklar PMT dan PMS	Tenaga listrik yang di kirim tidak terkendali	Gunakan saklar PMT dan PMS yang berkualitas tinggi dari produsen terpercaya. Saklar berkualitas baik umumnya memiliki pengoperasian yang lebih stabil dan handal. Lakukan pengujian awal pada saklar PMT dan PMS sebelum digunakan dalam sistem utama untuk memastikan bahwa mereka berfungsi dengan benar dan Pastikan saklar PMT dan PMS terpasang dengan benar sesuai dengan panduan produsen
C6	Kerusakan pelebur	Arus listrik tidak dapat di kendalikan	Gunakan <i>fuse cut out</i> yang berkualitas tinggi dari produsen terpercaya. Pastikan <i>fuse cut out</i> memiliki rating yang sesuai dengan beban dan karakteristik sistem distribusi. Lakukan pemeliharaan rutin pada <i>fuse cut out</i> , termasuk pemeriksaan visual, penggantian fuse yang aus atau rusak, dan pembersihan. Pemeliharaan yang baik dapat mencegah kerusakan lebih lanjut dan Pasang perangkat pemantauan arus lebih (<i>overcurrent protection</i>) untuk mendeteksi arus berlebihan dan memutus pasokan listrik jika diperlukan.

Sumber: Data Diolah 2022

Pada tabel diatas di dapatkan bahwa metode pengendalian yang harus di lakukan untuk mengantisipasi kerusakan pada system jaringan distribusi listrik adalah pemeriksaan rutin terhadap komponen-komponen jaringan serta. Penebangan pohon yang mengganggu.

F. Analisis Fault Tree

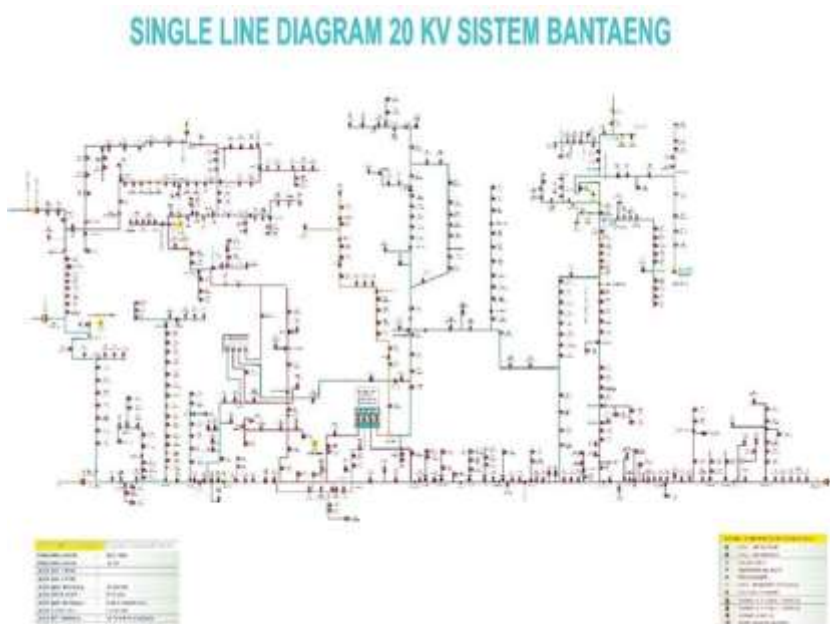
Analisis di Fault tree di lakukan untuk menelusuri kerusakan dengan mengetahui kejadian atau kombinasi kejadian dalam system jaringan distribusi. Dari minimal cut set di dapatkan enam kejadian dasar yang menjadi penyebab utama kerusakan pada jaringan distribusi listrik. Yaitu: Gangguan alam, gangguan alam yang menyebabkan kegagalan jaringan distribusi listrik dapat berupa angin kencang, petir, longsor, dan hujan lebat. Permasalahan yang di akibatkan oleh bencana alam yaitu: kerusakan kabel, tiang listrik, kerusakan penangkal petir (arrestor) dan kerusakan conektor.

Penyebab kerusakan masing-masing, dan kerusakan yang terjadi berupa alat adalah sebagai berikut:

1. Tiang listrik
2. Kabel Listrik
3. Penangkal petir
4. Konektor
5. Jumper
6. Relay
7. Isolator
8. Trasformator
9. Saklar PMT dan PMS
10. fuse cut out (pelabur)

G. Usulan Perbaikan Jaringan Distribusi Listrik

Usulan perbaikan dilakukan setelah menganalisis FTA, dari faktor yang paling signifikan yang menyebabkan



Gbr. 5 Single Line Diagram Sistem Bantaeng

gangguan distribusi listrik, yaitu kerusakan komponen jaringan distribusi selain menyebabkan gangguan listrik, juga menyebabkan kualitas pelayanan pihak PLN kepada pelanggan menurun. Usulan perbaikan berdasarkan sistem yang ada pada jaringan distribusi listrik sebagai berikut:

Penyelesaian yang di tawarkan untuk perbaikan yaitu sebagai berikut.

1. Rutin Perawatan dan Pemeliharaan:
 - a) Tentukan jadwal perawatan rutin untuk semua peralatan di gardu distribusi
2. Lakukan pemeriksaan berkala dan pemeliharaan untuk mendeteksi potensi
3. Penggantian Peralatan Usang:
 - a) Tinjau peralatan tua dan usang
 - b) Perbarui peralatan yang sudah melewati masa pakainya.
4. Monitoring dan Pemantauan:
 - a) Implementasikan sistem pemantauan berbasis sensor.
 - b) Dengan pemantauan yang tepat, masalah dapat diidentifikasi lebih cepat, sehingga dapat diatasi sebelum menyebabkan kerusakan yang lebih besar.
5. Sistem Proteksi yang Efektif:
 - a) Tinjau dan perbarui sistem proteksi gardu distribusi.
6. Koordinasi yang baik dalam sistem proteksi juga akan membantu mengisolasi gangguan
7. Inspeksi Rutin pada Kabel dan Isolator:
 - a) Lakukan inspeksi rutin pada kabel dan isolator untuk mendeteksi potensi masalah
 - b) Ganti kabel atau isolator yang rusak

Selanjutnya permasalahan yang sering terjadi pada jaringan tegangan menengah lebih banyak karena rusaknya peralatan jaringan yang dipakai. Berikut adalah beberapa usulan perbaikan yang dapat dipertimbangkan:
1. Rutin Pemeriksaan dan Perawatan:
2. Penggantian Komponen Usang:
3. Monitoring dan Pengawasan:
4. Dengan pemantauan yang akurat, masalah dapat diidentifikasi lebih cepa
5. Sistem Proteksi yang Tepat.

Perbarui sistem proteksi pada jaringan tegangan menengah
6. Penggunaan Peralatan Modern:
7. Perbaikan Isolasi dan Penanggulangan Pohon.

Berikut adalah beberapa usulan perbaikan yang dapat dipertimbangkan:
1. Peningkatan Proteksi dan Relai:
 - a) Tinjau dan perbarui sistem proteksi dan relai di jaringan distribusi.
 - b) Pastikan sistem proteksi dapat bekerja secara cepat dan akurat
2. Perbaikan Keausan Kabel dan Isolator:
 - a) Lakukan inspeksi rutin untuk mendeteksi kerusakan atau keausan pada kabel dan isolator.
 - b) Ganti kabel atau isolator yang sudah rusak atau mendekati akhir masa pakainya
3. Rekonfigurasi dan Pengelolaan Beban:
 - a) Pertimbangkan rekonfigurasi jaringan distribusi untuk mengoptimalkan aliran daya dan mengurangi beban
 - b) Implementasikan sistem pengelolaan beban yang adaptif untuk mendistribusikan daya secara seimbang di seluruh jaringan.
4. Pemangkasan Pohon:

Lakukan pemangkasan pohon secara teratur di sekitar jalur jaringan distribusi untuk menghindari kontak yang tidak diinginkan
5. Implementasi Teknologi Pintar:
 - a) Gunakan teknologi pintar, seperti sensor dan sistem pemantauan berbasis IoT,
 - b) Teknologi pintar dapat membantu mendeteksi masalah lebih cepat dan mengoptimalkan kinerja jaringan.
6. Perbaikan Infrastruktur dan Peralatan:
 - a) Tinjau dan evaluasi kondisi infrastruktur dan peralatan di jaringan distribusi.
 - b) Perbarui atau ganti peralatan yang sudah usang, tidak efisien, atau tidak sesuai standar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengelolaan data, maka dapat di tarik bebarapa kesimpulan sebagai berikut:

A. Kesimpulan

1. Penyebab kegagalan jaringan distribusi ada enam yaitu: gangguan alam, material, manusia, binatang, komponen, dan kesalahan instalasi jaringan listrik. Penyebab utama kerusakan jaringan distribusi listrik yaitu: kerusakan tiang listrik, penangkal petir, kabel listrik, konektor, relay isolator traformator saklar NT-FU serta PMT dan PMS..
2. Prioritas utama perbaikan yang harus dilakukan oleh pihak PT PLN (Persero) berdasarkan pertimbangan efek kerusakan yang di timbulkan, frekuensi kerusakan, dan metode pengendalian resiko kerusakan sebagai berikut: kerusakan yang disebabkan oleh gangguan manusia, binatang, komponen, material, dan kesalahan instalasi jaringan.

B. Saran

Saran yang dapat peneliti sampaikan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut yaitu:

1. Analisis yang peneliti lakukan hanya berfokus pada kerusakan jaringan distribusi tegangan menengah, untuk lebih lanjut dapat dilakukan analisis penyebab kerusakan dari Gardu induk sampai ke pelanggan.
2. Dibutuhkan studi yang lebih lanjut mengenai kesempurnaan isi penulisan ini, khususnya dalam upaya peningkatan pelayanan tenaga listrik kepada masyarakat dimasa sekarang dan masa yang akan datang.

REFERENSI

- [1] A. Adriani, *Analisis Faktor Penurunan Gangguan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Pada Penyulang Parangbanoa*, Vertex Elektro, vol. 13, no. 1, p. 1–8, 2021.
- [2] A. Bakhtiar, D. Puspitasari, D. Ayu Wulandari, e J. Sudharto, *Analisa Kegagalan Proses Pengolahan Produk Piring Menggunakan Metode Failure Modes, Effects and Analysis dan Fault Tree Analysis di PT. Sango Ceramics Indonesia*.
- [3] Negara, D. J. K. (n.d.). *Pengelolaan Risiko Yang optimal Melalui Manajemen Risiko*. <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kanwil-jakarta/baca-artikel/14069/Pengelolaan-Risiko-yang-Optimal-Melalui-Manajemen-Risiko.html>
- [4] H. Kerzner, *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*.
- [5] Nurdiana, N. (2017). *Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Gardu Induk Talang Ratu Palembang*. Jurnal Ampere, 2(1), 23–30. <https://doi.org/10.31851/ampere.v2i1.1208>
- [6] Dasman, H. H., & Handayani, H. (2017). *Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20kV Menggunakan Metode SAIDI dan SAIFI di PT PLN (Persero) Rayon Lubuk Alung tahun 2015*. JURNAL TEKNIK ITP, 6(2).
- [7] Y. Ardiyanto, I. Tri Sujoko, W. Aji Wibowo, V. Dwi Hendra Nugraha, e F. Evan Saputra, *Prototype Design of Unmanned Surface Ship to Detect Illegal Fishing Using Solar Power Generation Technology*, Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY), vol. 3, n° 1, 2019.
- [8] N. Irsyam e Y. Rizal, *Analisis Keoptimalan Jaringan Transmisi Nasional Provinsi Sumatera Barat dengan Algoritma Prim*, 2020.
- [9] R. Saragih, R. Saragih, R. Nasution, e D. Prodi Teknik Elektro, *Studi Peralatan Proteksi Sambaran Petir Lightning Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 KV*, 2020.
- [10] Y. Yusmartato, L. Parinduri, e S. Sudaryanto, *Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir*, JET (Journal of Electrical Technology), vol. 2, n° 3, p. 13–17, 2017.