

KEANDALAN PERALATAN PENGAMAN JARINGAN DISTRIBUSI PADA PT PLN RAYON MEDAN TIMUR

Oleh:

Janter Napitupulu¹⁾, Yahya Ginting²⁾, Martopo Lumban Gaol³⁾
Universitas Darma Agung, Medan^{1,2,3)}

E-Mail:

janter_mh@yahoo.com¹⁾, ginting1972@yahoo.com²⁾,
martopu@gmail.com³⁾

ABSTRACT

Demand for electrical energy needs is increasing from time to time in line with increased economic growth. Until now electricity is one of the main sources of energy to support these activities. Utilization of electrical energy must be balanced by maintaining the quality of electrical energy itself. To meet energy growth not only meets the increasing power demand every year but also improves the quality of service reliability. The distribution network is part of the electricity system that is closest to the customer and has the most disruptions, so that one of the main problems in the distribution system operation is to overcome the disturbances, because the occurrence of many disturbances will affect the distribution network service reliability index. The level of reliability of equipment in the distribution system is measured by the extent to which the distribution of electricity can take place continuously to customers without the need for blackouts. Along with the times, load growth occurs marked by the emergence of industrial areas and this requires a higher level of safety equipment reliability.

Keywords: *Distribution Network, Reliability, Safety*

I. PENDAHULUAN

Keandalan suatu jaringan distribusi sangatlah penting untuk menghindari terjadinya pemadaman listrik dan diharapkan secara kontinu bisa menyalurkan energi listrik dengan gangguan pemadaman yang minimal.

Apabila penyediaan tenaga listrik ini sudah dapat terpenuhi maka yang menjadi masalah adalah bagaimana sistem keandalan peralatan distribusi tersebut telah berjalan dengan baik secara kontinu. Pada umumnya dalam operasi sistem tenaga listrik sistem tenaga listrik tidak terlepas dari gangguan-gangguan yang terjadi yang dapat membahayakan keseluruhan sistem gangguan-gangguan yang mungkin terjadi ada yang bersifat sementara (temporer) dan ada yang bersifat tetap (permanent).

Untuk menghindari akibat-akibat dari gangguan tersebut maka pada sistem peralatan distribusi yang baik dapat melindungi setiap peralatan pada sistem dengan cepat. Atau dengan perkataan lain dengan adanya sistem keandalan pengaman maka gangguan yang terjadi tidak menimbulkan kerusakan yang mungkin terjadi pada jaringan distribusi tersebut.

1.1 Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi

Tanpa pengaman yang selektif, tidak mungkin suatu sistem distribusi dapat beroperasi dengan baik sempurna. Peralatan pengaman dibutuhkan supaya dapat melindungi peralatan sistem, dari arus gangguan yang dapat membahayakan sistem distribusi serta pelayanan beban.

Peranan dan pengaman terhadap arus gangguan adalah untuk melokalisir arus gangguan yang terjadi pada sistem distribusi, serta melindungi peralatan sistem, maksud-maksud tersebut dapat dicapai dengan pengaman yang baik pula.

1.2 Fuse

Fuse adalah suatu peralatan pengaman yang umum, dipakai untuk tegangan tinggi. Bahannya tersebut dari tembaga atau perunggu, kadang-kadang dari timah. Titik lebur perunggu jauh lebih tinggi. Tiap-tiap fase berbeda dengan bahan yang digunakannya.

Menurut Klasifikasi fuse dapat dibedakan atas :

1. Fuse cut – out
2. Fuse link

1.3 Pemutus Tenaga Circuit Breaker (CB)

Pemutus tenaga dengan rating tegangan diatas 10 KV dapat diklasifikasikan didalam pemutus daya tegangan menengah. Pemakaian pemutus tenaga Circuit Breaker (CB) ditempatkan pada saluran transmisi, sistem distribusi dan gardu induk.

Pemutus tenaga berfungsi sebagai penghubung dan pemisah jaringan apabila terjadi hubung singkat untuk melindungi sistem distribusi. Didalam penggunaannya suatu pemutus tenaga harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Harus mempunyai kesanggupan memutuskan daya (KVA Breaking Capacitance).
2. Waktu pemutus daya sesingkat mungkin.
3. Harus mempunyai keandalan dalam pelayanan beban.

4. Bentuk yang sederhana mudah bekerja dan mempunyai ukuran yang simpel disamping berat yang tidak mempengaruhi keandalan.

Menurut cara pemadaman busur api dan medium yang dipergunakan dalam pemutus tenaga dapat diklasifikasikan :

a. Pemutus Tenaga Dengan Minyak Volume Besar (Bulk Oil Circuit Breaker)

Penggunaan pemutusan tenaga yang banyak minyak sangat luas pemakaiannya. Akan tetapi keperluan dari pemutusan ini tidak menguntungkan didalam pusat-pusat tenaga listrik modern. Pemutusan tenaga dengan banyak minyak mempunyai beberapa buah tangki yang terpisah untuk tegangan mulai dari 72,5 KV keatas dan untuk tegangan 36 KV kebawah menggunakan sebuah tangki.

b. Pemutus Tenaga Dengan Minyak Kecil (Low Oil Circuit Breaker).

Pada umumnya pemutus tenaga dengan sedikit minyak ini arus terjadi pada ruangan pemutus. Pelindung dari pemutus ini terbuat dari material pemisah seperti porselin. Penggunaan media minyak pada pemutus tenaga ini bertujuan sebagai pemisah dan penggunaannya sangat sesuai dengan media pemadam busur api.

Dielektrik oil pada pemutus daya digunakan sebagai media pemadam busur api pemisah kontak tersebut didalam tangki minyak yang berisi dengan dielectric oil. Busur api yang terjadi mengakibatkan kerusakan pada media minyak tersebut.

Fungsi minyak pada kedua pemutus tenaga diatas tersebut :

1. Untuk memadamkan busur api sewaktu membuka kontak (switch) dengan bebas.

2. Untuk mengisolasi bagian-bagian yang dilalui arus seperti : spoler dari medan magnet.

1.4 Sistem Jaringan Distribusi

Peralatan pengaman pada jaringan distribusi merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Gangguan peralatan pada sistem listrik dapat terjadi disisi pembangkit, pada jaringan distribusi. Tanpa adanya pengaman, tenaga listrik yang dihasilkan tidak dapat ditransmisikan dan didistribusikan kepada konsumen dengan tingkat keandalan atau kualitas yang tinggi.

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengaman terhadap peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik. Seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan sebagainya terhadap kondisi tidak normal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

1.5. Pola Pengaman Sistem

Fungsi dari sistem distribusi adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat suplay sampai ke pemakai beban dengan mutu yang memadai. Kontinuitas pelayanan tergantung kepada bermacam-macam sarana penyaluran dan peralatan dan peralatan pengaman.

Sarana penyaluran mempunyai tingkat keandalan yang tergantung pada susunan saluran dan cara pengaturan operasinya, yang pada hakekatnya pola pengaturan operasi ini dipilih karena sifat beban dan untuk memenuhi kebutuhan.

Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyaluran ditentukan berdasarkan upaya menghidupkan kembali pelayanan, setelah mengalami pemutusan karena gangguan.

1. Padam berjam-jam, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang terganggu akibat gangguan.

2. Padam beberapa jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mengirim petugas kelapangan, melokalisasi kerusakan dan melakukan manipulasi untuk menghidupkan kembali dengan cara yang dialihkan dari saluran lain.

3. Padam beberapa menit, yaitu manipulasi oleh petugas yang siap digardu atau dilakukan dengan deteksi ataupun pengukuran jarak jauh.

4. Padam beberapa detik, yaitu manipulasi secara otomatis.

1.6 Pemilihan Transformator

Transformator merupakan suatu perangkat listrik yang berfungsi untuk memindahkan daya dari suatu rangkaian primer ke rangkaian sekunder dengan frekuensi yang sama, dengan mengatur tegangan dan arus sistem sesuatu direncanakan.

Transformator daya merupakan transformator dengan kapasitas pemindahan daya yang besar, misalnya transformator daya pada saluran distribusi dengan rating 150 KV / 20 KV, 20 MVA. Pada sistem tenaga listrik transformator daya diklasifikasikan menjadi dua :

1. Transformator daya untuk saluran transmisi.

2. Transformator daya untuk saluran distribusi.

Jenis yang dimaksud disini adalah transformator daya untuk transmisi atau transformator saluran distribusi. Transformator saluran distribusi sekunder tidak memelurkan sistem pengaman yang serumit atau selengkap seperti pada transformator distribusi primer atau saluran transmisi.

Biasanya pada transformator distribusi sekunder cukup diamankan dengan dengan sekring cut-out dan aresster atau surge diventer saja. Namun untuk transformator distribusi primer dan saluran transmisi harus dilengkapi dengan relai-relai pengaman.

Prioritas transformator pada jaringan distribusi diperlukan sistem pengaman yang sangat andal sehingga kemungkinan pemadamnya sangat kecil. Pembebanan lebih yang berlangsung lama akan mengurangi unsur dari isolasi transformator karena pada umumnya transformator tidak terus-menerus bekerja pada kondisi beban nominal, maka transformator boleh mengalami pembebanan lebih untuk waktu yang singkat.

1.7 Pemutus Tenaga Utama

Operasi yang baik dari pemutus daya sangat diperlukan untuk pengaman sistem tenaga listrik. Kegagalan pemutus daya dalam operasi kerja

dapat menimbulkan kerusakan dan bencana. Pemutus daya saat gangguan ataupun pada saat kondisi yang normal. Gangguan itu dapat terjadi setiap saat, oleh karena itu pemutus daya harus bekerja langsung sebagaimana pengoperasiannya, pemeliharaan yang teratur dan mendetail yang sangat diperlukan.

Sebagai pengaman utama jaringan yang dilengkapi dengan alat pengaman relay :

1. Relay gangguan tanah untuk membebaskan gangguan fasa tanah.
2. Relay arus lebih untuk membebaskan gangguan antara fasa-fasa tanah.
3. Penutup balik untuk memulihkan sistem dari gangguan yang bersifat sesaat.
4. Peralatan ini dapat dikoordinasikan dengan alat pemutus/pengaman lain disisi percabangan yaitu kontak pembagi (sectionalizer) dan fuse.

Pemutus pada dasarnya mempunyai prinsip yaitu memutuskan daya yang ada pada suatu rangkaian ataupun dalam jaringan, dan dalam setiap pemutusan akan ada timbul bunga api.

Maka dalam memilih pemutus yang akan dipergunakan tergantung pada :

- a. Bagaimana cara memutuskan bunga api yang timbul akibat pemutusan (switching).
- b. Berapa lama pemutus dapat memadamkan bunga api yang timbul akibat pemutusan.

1.8. Fungsi Pemutus Tenaga

Menurut fungsinya pemutus digolongkan menjadi dua jenis yaitu :

1. Pemutus keadaan berbeban (pemutus tenaga).

Pemutus tenaga (PMT), atau dikenal dengan istilah lapangan Circuit Breaker merupakan piranti saklar mekanik yang secara otomatis akan membuka atau memutuskan rangkaian listrik apabila terjadi ketidaknormalan pada sistem tanpa adanya kerusakan. Pemutusan tenaga merupakan salah satu piranti pengamanan yang terpenting karna hampir semua sinyal keluaran dari relay-relay pengaman ditunjukkan pada pemutus tenaga. Pemutus tenaga terdiri dari kontak-kontak yang dialiri arus listrik arus lebih yang dikenal dengan elektroda. Pada kondisi normal elektroda-elektroda tersebut dalam kondisi terhubung.

Sebaiknya pada kondisi abnormal maka elektroda-elektroda akan terpisah dan memutuskan hubungan listrik dari suatu sisi ke sisi lainnya. Pada saat pemutusan, pemutusan tenaga akan terjadi busur api yang cukup besar. Busur api yang cukup besar ini apabila dibiarkan saja akan mengakibatkan kerusakan, baik pada pemutus tenaga sendiri maupun pada sistem secara keseluruhan. Masalah penting dalam pemutusan tenaga adalah bagaimana menghilangkan busur api dengan cara sebelum busur api mencapai suatu harga yang membahayakan.

Menurut letaknya pada sistem tersebut pemutus dapat dibagi atas ada dua jenis, yaitu :

- A. Pemutus arus pada sisi tegangan tinggi

Untuk ini harus dipenuhi syarat bahwa pemutus arus pada sisi tegangan tinggi harus :

- a. Mempunyai kapasitas pemutus (Breaking Capacity) yang besar.

- b. Dapat memutuskan arus dalam waktu singkat.

- c. Dapat memutuskan arus tanpa merusak peralatan.

- B. Pemutus arus pada sisi tegangan rendah

Pada pemutus arus sisi tegangan rendah, prinsip pemadaman bunga api itu lebih sederhana. Jiki ini kita bandingkan dengan prinsip pemadaman bunga api pada sisi tegangan tinggi.

Macam-macam alat yang diklasifikan sebagai pemutus arus pada sisi tegangan rendah yaitu :

- a. Fuse
- b. Fuse terbuka
- c. Fuse tertutup
- d. Circuit breaker media udara
- e. Kontaktor

Pemilihan jenis-jenis pemutus arus yang dipakai untuk mengamankan sistem tergantung pada kebutuhan dan koordinasi dengan alat-alat proteksi yang lain.

2. Pemutus keadaan tidak berbeban (pemisah)

Untuk menjaga kontinuitas pelayanan, maka peralatan harus dirawat secara teratur. Saat perawatan tersebut dilaksanakan, maka bagian yang dirawat harus dipisahkan dari sistem, sehingga bebas dari gangguan tinggi. Dengan demikian petugas dapat melaksanakan perawatan yang efisien dan aman. Untuk mencegah terjadinya bahaya tegangan tinggi, maka perawatan yang dirawat harus benar-benar terlihat apabila peralatan sudah terpisah dari rangkaian sistem. Hal ini dapat diklasifikasikan dengan menggunakan suatu alat yang disebut saklar pemisah.

Saklar pemisah adalah suatu peralatan yang dapat memutus dan menutup rangkaian. Pada rangkaian dimana pada saat terbuka tidak terjadi perbedaan tegangan yang besar pada kutub saklarnya.

Dilihat dari pemasangannya, saklar pemisah dibagi atas pasangan luar dan pasangan dalam. Dilihat dari banyak kutubnya, saklar pemisah dibagi menjadi dua jenis yaitu :

- a. Saklar pemisah saklar tunggal.
- b. Saklar pemisah tiga kutub.

1.9. Fuse Cut Out

Pada sistem jaringan menengah untuk mengamankan terhadap gangguan arus lebih banyak digunakan pengaman lebur (fuse). Pengaman lebur (fuse) ini merupakan alat pengaman yang paling andal dan tahan untuk 15 sampai 20 tahun tanpa perawatan.

Adapun sifat pengaman lebur yang baik yaitu :

1. Tanggap terhadap arus lebih dari sistem / peralatan yang dilindungi oleh pelebur.
2. Memutus dan memadamkan atau arus lebih dan tahan terhadap perubahan tegangan balik (trasien recovery voltage) yang timbul karna pemutus tersebut.
3. Dapat dikoordinasikan dengan alat pengaman yang lain (termasuk pelebur lain pada sistem tersebut agar dapat diusahakan daerah yang padam minimum).

bermuara pada program peningkatan pelayanan pada masyarakat.

Pengendalian operasi penyaluran tenaga listrik dinyatakan normal apabila keburukan daya beban terpenuhi serta tidak adanya kendala-kendala operasi yang dilanggar seperti adanya pemadaman, tegangan frekuensi berada diluar dan batas-batas yang diinginkan.

Dengan situasi seperti ini berarti daya listrik akan mengalir dengan lancar dari sumber beban tanpa mengalami gangguan. Kondisi harus dipertahankan guna tercapainya keputusan pelanggan. Upaya mempertahankan kondisi ini dilakukan dengan pengendalian operasi peralatan pengamanan. Jadi sebelum adanya keandalan yang dilanggar, sistem kendali peralatan pengamanan telah melakukan sesuatu agar kondisi operasi tetap terpenuhi.

2.3 Keandalan Sebagai Aspek Perencana

Dalam menyatakan secara sederhana bahwa perencana sistem jaringan tegangan menengah adalah suatu masalah penyelenggara penyaluran tenaga listrik dari sumber atau dari beberapa sumber berbagai macam gangguan. Hal ini memerlukan pemilihan bentuk sistem distribusi dan peralatan pengamanan dari jaringan.

Didalam merencanakan sistem jaringan dan peralatan pengamanan maka semua langkah-langkah perencana, pemilihan bentuk jaringan dan pemilihan peralatan pengamanan sangat ditekankan pada keandalan serta model yang perlu disediakan untuk mewujudkan sistem listrik yang kita rencanakan itu.

Tentunya dalam menentukan sistem jaringan yang akan kita pakai disamping itu kita memperhatikan faktor ekonominya.

Ada 3 prosedur untuk merencanakan sistem jaringan, diantaranya sebagai berikut :

1. Pilih konsep-konsep dan konfigurasi penggunaan jaringan yang akan mensuplay tenaga listrik dari sumber beban-beban untuk memenuhi hal-hal yang diinginkan, misalnya keadaan dari sistem pada peralatan pengamannya.
2. Melengkapi data-data alat yang akan digunakan supaya peralatan tersebut dapat digunakan seefektif mungkin, termasuk data type, ukuran, sifat-sifat rating dan lain-lain dari peralatan yang dibutuhkan.
3. Perhitungan perhitungan yang mengenai keseluruhan sistem yang telah ditentukan dari kedua prosedur diatas, disini juga perlu diperhatikan di beberapa dimensi listrik, bentuk dan bangunan dan memperlihatkan se jelas-jelasnya letak dan detail dari peralatan, serta hubungan sumber dan kemudian tiap-tiap komponen itu perlu diperhatikan secara khusus.

Ketiga prosedur diatas adalah saling berhubungan dan keputusan-keputusan yang diambil dari tiap langkah tertentu akan mempengaruhi unsur-unsur yang berhubungan dengan itu, didalam salah satu atau kedua prosedur diatas.

Sebagaimana terlihat dari prosedur ketiga diatas perencana suatu sistem jaringan dinyatakan

dalam bentuk rencana rencana pemasangan dan termasuk perencanaan sub sistem dan sub utama, harus disederhanakan serta sistematis dan single diagram yang menggambarkan secara detail letak dari peralatan-peralatan. Semua itu diperlukan untuk menyatakan suatu keandalan yang bagi pelaksanaan perencanaan yang baik serta bisa dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis.

Didalam merencanakan sistem jaringan tegangan menengah perlu diperhatikan dasar-dasar perencanaan, sehingga nantinya diperoleh hasil perencanaan yang baik.

Dasar-dasar perencanaan itu adalah sebagai berikut :

a. Keamanan

Maksudnya sistem jaringan tersebut telah aman dari segala kesalahan yang terjadi dengan terpasangnya peralatan pengamanan.

b. Kapasitas

Maksudnya adalah harus mempunyai kapasitas memiliki beban yang cukup untuk melayani beban yang ada dan mampu bila terjadi penambahan beban pada masa yang akan datang.

c. Fleksibilitas

Tergantung pada sistem jaringan yang mensuplay tenaga listrik dan jenis beban yang bermacam-macam, maksudnya jaringan tersebut harus mampu memikul beban yang bermacam-macam disuatu jaringan yang sama.

d. Aseibilitas

Maksudnya jaringan tersebut harus mampu sepenuhnya mengantisipasi bila terjadi perubahan sistem jaringan, perluasan jaringan, modifikasi jaringan.

e. Keandalan

Maksudnya keandalan suplay dan keandalan yang menyeluruh dan komponen-komponen sistem jaringan. Dengan memperhatikan dasar-dasar perencanaan diatas, maka keandalan sebagai aspek perencana dapat diatasi.

Pada waktu sistem jaringan direncanakan jaminan adanya suatu tingkat keandalan tertentu pada jaringan tersebut sudah dapat dipresentasikan dengan metode yang ada. Dari beberapa aspek perencanaan keandalan merupakan hal yang sangat penting menentukan penampilan jaringan dikemudian hari.

Telah dijelaskan bahwa keandalan pada dasarnya merupakan suatu nilai jaminan dalam penyaluran daya listrik kekonsumen dengan baik, oleh karena itu mengandung kosekuensi adanya resiko dan kemungkinan-kemungkinan sistem manapun dan dalam bidang apapun serta betapa pun sempurnanya, yang jelas senantiasa diharapkan untuk mengurangi kemungkinan kegagalan.

Hal ini perlu disadari sebaik-baiknya, dengan demikian didalam perencanaan perlu diperhitungkan dan teliti sebaik-baiknya kemungkinan kegagalan sistem jaringan tersebut, dilain pihak dapat diketahui batas-batas keandalan yang dimiliki jaringan, pada saat waktu sistem beroperasi nilai keandalan perlu diikuti (dimonitor).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Perhitungan

Untuk contoh perhitungan yang dipakai adalah sistem Gardu Induk PT.PLN (PERSERO) Rayon Medan Timur dalam bentuk diagram satu garis , dengan data-data statistik kegagalan peralatan pengaman sebagai berikut :

Tabel 1.Data Kegagalan Peralatan

NO	Peralatan	Faktor Penyebab Kegagalan Pertahun (%)					Total Kegagalan Pertahun (%)
		Listrik	Mekanis	Cuaca	Manusia	Toleransi	
1	Trafo Daya	1,66	0,33	-	-	-	1,99
2	PMT	0,70	0,70	-	-	-	1,40
3	PMS	0,77	0,13	0,13	0,06	-	1,08
4	Penghantar	1,86	0,09	0,09	0,04	3,01	5,09

Keterangan tabel diatas menunjukkan bahwa , data-data kegagalan peralatan pertahun terjadi pada penghantar, dan data yang paling kecil kegagalannya terjadi pada PMS (saklar pemisah).

3.2. Harga-harga Kegagalan dan Keandalan Peralatan.

1. Trafo Daya 150/20 Kv

Angka kegagalan pertahun $P_f = 1,99\% = 0,019$

Keandalan Trafo Daya pertahun $P_s = 1 - P_f = 1 - 0,019 = 0,9801$

2. Pemutus Tenaga (PMT)

Angka Kegagalan pertahun $P_f = 1,40\% = 0,014$

Keandalan PMT pertahun $P_s = 1 - P_f = 1 - 0,014 = 0,986$

3. Pemisah (PMS)

Angka Kegagalan pertahun $P_f = 1,08\% = 0,0108$

Keandalan PMS $P_s = 1 - P_f = 0,0108 = 0,9892$

4. Penghantar (HUTM)

Angka Kegagalan pertahun $P_f = 5,09\% = 0,0509$

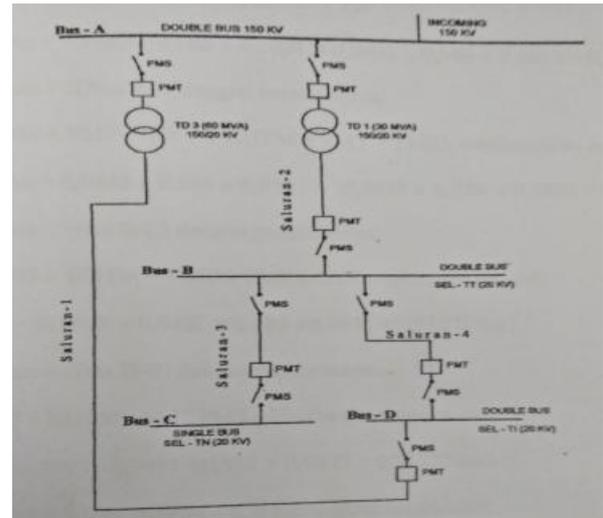
Keandalan HUTM pertahun $P_s = 1 - P_f = 1 - 0,0509 = 0,9491$

Tabel 2. Persentase Kegagalan Peralatan Pertahun

NO	Peralatan	Harga Kegagalan		Harga Keandalan (Pertahun)
		(%)	(Pertahun)	
1	Trafo Daya	1,99	0,019	0,9801
2	PMT	1,40	0,014	0,986
3	PMS	1,08	0,0108	0,9892
4	Penghantar	5,09	0,0509	0,9491

Berdasarkan konfigurasi peralatan pada Gardu Induk tersebut (Gambar One Line Diagram) dapat diperkirakan Keandalan dari sistem , sebagai berikut :

a. Sistem I-konfigurasi terpasang



Gambar 2. Konfigurasi sitem 1

1. Saluran – 1 (Bus A-D) dengan peralatan (PMS + PMT + TD-3 + HUTM + PMT + PMS), dihubungkan secara seri :

$$P_{s-seri} = P_{s1} \times P_{s2} \times \dots \times P_{sn}$$

$$P_{s-1} = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

2. Saluran – 2 (Bus A-B) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-1 + HUTM + PMT + PMS), dihubungkan secara seri :

$$P_{s-2} = 0,9892 + 0,986 + 0,9801 + 0,9491 + 0,986 + 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

3. Saluran – 3 (Bus B-C) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS), dihubungkan secara seri :

$$P_{s-3} = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

4. Saluran – 4 (Bus B-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS), dihubungkan secara seri :

$$P_{s-4} = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

5. Saluran – 1 dan saluran – 4 , dihubungkan secara seri :

$$P_{s-5} = P_{s-1} \times P_{s-4} = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

6. Saluran -2 dan saluran -3, dihubungkan secara seri :

$$P_{s-6} = P_{s-2} \times P_{s-3} = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

7. Saluran – 2 dan saluran – 4, dihubungkan secara seri :

$$P_{s-7} = P_{s-2} \times P_{s-4} = 0,88492 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

8. Saluran -1-4 dan saluran-3, dihubungkan secara seri :

$$P_{s-8} = P_{s-5} \times P_{s-3} = 0,88492 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

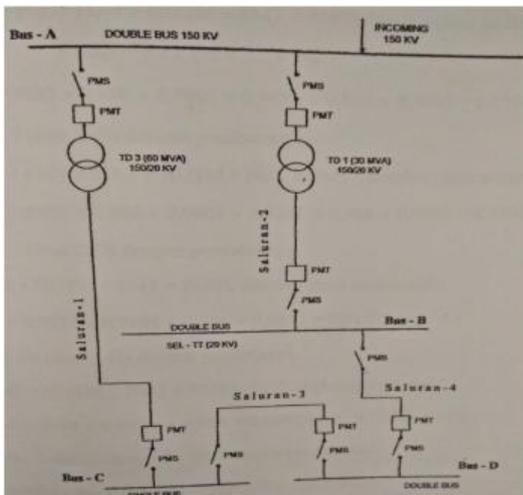
9. Pada bus B, saluran 1-4 terhubung paralel dengan saluran -2 :

$Ps_1 = 1 - \{(1 - Ps_5) \times (1 - Ps_2)\} = 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,88492)\}$
 $= 1 - 0,02128$
 $= 0,97818$ hari
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,97818 = 0,02128$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,02128 \times 365 = 7,96$ hari/tahun
 10. Pada bus C, saluran-3 terhubung seri dengan Rs-1 (Bus B) ;

$PS-9 = Ps-1 \times Ps-3 = 0,97818 \times 0,91570$
 $= 0,89571$ hari
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,89571$
 $= 0,10429$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,10429 \times 365 = 38,06$ hari/tahun
 11. Pada bus D, saluran -1 terhubung paralel dengan saluran 2-4 :

$Ps-2 = 1 - \{(1 - Ps-1) \times (1 - Ps-2)\} = 1 - \{(1 - 0,88492) \times (1 - 0,81032)\}$
 $= 1 - 0,2128$
 $= 0,97818$ hari
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,97818 = 0,02128$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,02128 \times 365 = 7,96$ hari/tahun
 Maka kemungkinan terjadinya kegagalan selama setahun pada sistem – I ini adalah :
 $Pf_{\text{total}} = 7,98 + 38,06 + 7,96 = 53,98$ hari/tahun.

b. System-II



Gambar 3. Konfigurasi sitem – II

Perhitungan pada sistem – II

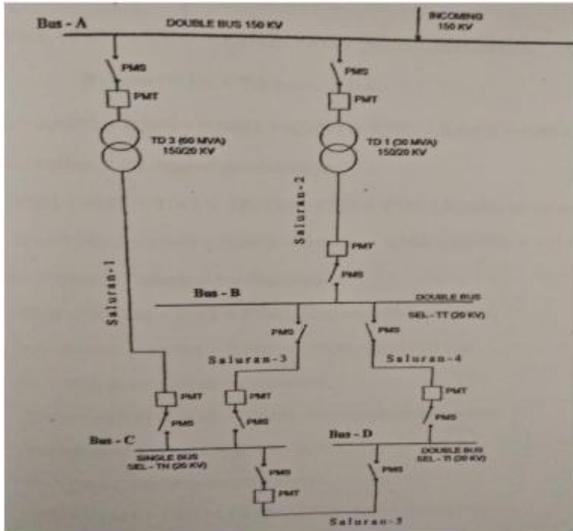
1. Saluran -1 (Bus A-C) dengan peralatannya,
 (PMS + PMT + TD-3 + HUTM + PMT + PMS),
 dihubungkan secara seri :
 $Ps- \text{seri} = Ps_1 \times Ps_2 \times \dots \times Ps_n$
 $Ps-1 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986$
 $\times 0,9892 = 0,88492$ hari
 2. Saluran -2 (Bus A-B) dengan peralatannya,
 (PMS + PMT + TD-1 + HUTM + PMT + PMS),
 dihubungkan secara seri :
 $Ps-2 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times$
 $0,9892 = 0,88492$ hari

3. Saluran -3 (Bus C-D) dengan peralatannya,
 (PMS + HUTM + PMT + PMS), duhubungkan secara seri :
 $Ps-3 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570$ hari
 4. Saluran -4 (Bus B-D) dengan peralatannya,
 (PMS + HUTM + PMT + PMS), dihubungkan secara seri :
 $Ps-4 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570$ hari
 5. Saluran -1 dan saluran -3, dihubungkan secara seri,
 $Ps-5 = Ps-1 \times Ps-3 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032$ hari
 6. Saluran -1,-3 dan saluran -4, dihubungkan secara seri :
 $Ps-6 = Ps-5 \times Ps-4 = 0,81032 \times 0,91570 = 0,74201$ hari
 7. Saluran -2 dan saluran -4, dihubungkan secara seri :
 $Ps-7 = Ps-2 \times Ps-4 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032$ hari
 8. Saluran -2,-4 dan saluran -4, dihubungkan secara seri :
 $Ps-8 = Ps-7 \times Ps-3 = 0,81032 \times 0,91570 = 0,74201$ hari
 9. Pada Bus B, saluran 1-2-3, terhubung paralel dengan saluran -2 :

$Ps-1 = 1 - \{(1 - Ps-6) \times (1 - Ps-2)\} = 1 - \{(1 - 0,74201) \times (1 - 0,88492)\}$
 $= 1 - 0,02967$ hari
 $= 0,97033$
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,97033 = 0,02967$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,02967 \times 365 = 10,82$ hari/tahun
 10. Pada Bus C, saluran -1 terhubung paralel dengan saluran 2-3-4 :
 $Ps-2 = 1 - \{(1 - Ps-1) \times (1 - Ps-8)\} = 1 - \{(1 - 0,74201) \times (1 - 0,88492)\}$
 $= 1 - 0,02967$
 $= 0,97033$ hari
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,97033 = 0,02967$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,02967 \times 365 = 10,82$ hari/tahun
 11. Pada Bus D, saluran -1-3 terhubung paralel dengan saluran 2-4

$Ps-3 = 1 - \{(1 - Ps-5) \times (1 - Ps-7)\} = 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,81032)\}$
 $= 1 - 0,03734$
 $= 0,96430$ hari
 $Pf = 1 - Ps = 1 - 0,96430 = 0,03734$ hari
 $Pf \times \text{tahun} = 0,03734 \times 365 = 13,12$ hari/tahun
 Maka kemungkinan terjadinya kegagalan selama setahun pada sistem – II ini adalah :
 $Pf_{\text{total}} = 10,82 + 10,82 + 13,12 = 34,76$ hari/tahun.

c. Sistem – III



Gambar 4. Konfigurasi sistem – III

Perhitungan pada sistem – III.

1. Saluran -1 (Bus A-C) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-3 + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps - \text{seri} = Ps1 \times Ps2 \times \dots \times Psn$$

$$Ps-1 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

2. Saluran -2 (Bus A-B) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-1 + HUTM + PMT + PMT),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-2 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

3. Saluran -3 (Bus B-C) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-3 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

4. Saluran -4 (Bus B-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-4 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

5. Saluran -5 (Bus B-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-5 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

6. Saluran -1 dan saluran -3, dihubungkan secara seri :

$$Ps-6 = Ps-1 \times Ps-3 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

7. Saluran -1 dan saluran -3, dihubungkan secara seri :

$$Ps-7 = Ps-1 \times Ps-3 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

8. Saluran -1-5 dan saluran -4 , dihubungkan secara seri :

Ps-8 = Ps-7 \times Ps-4 = 0,81031 \times 0,91570 = 0,74201 hari
9. Saluran -2 dan saluran -3 , dihubungkan secara seri :

Ps-9 = Ps-2 \times Ps-3 = 0,88942 \times 0,91570 = 0,81032 hari

10. Saluran -2 dan saluran -4 , dihubungkan secara seri :

Ps-9 = Ps-2 \times Ps-4 = 0,88942 \times 0,91570 = 0,81032 hari

11. Saluran -2-4 dan saluran -5 , dihubungkan secara seri :

Ps-8 = Ps-10 \times Ps-5 = 0,81031 \times 0,91570 = 0,74201 hari

12. Pada Bus B, saluran 1-3 terhubung paralel dengan saluran -2 dan terhubung paralel pula dengan saluran 1-5-4 :

$$Ps-1 = 1 - \{(1 - Ps-6) \times (1 - Ps-2) \times (1 - Ps-8)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,88492) \times (1 - 0,74201)\}$$

$$= 1 - 0,00563 = 0,99437 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps, 1 - 0,99437 = 0,00563 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,00563 \times 365 = 2,05 \text{ hari/tahun}$$

13. Pada Bus C, saluran -1 terhubung paralel dengan saluran 2-3 dan terhubung paralel pula dengan saluran 2-4-5 :

$$Ps-2 = 1 - \{(1 - Ps-1) \times (1 - Ps-9) \times (1 - Ps-11)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,88492) \times (1 - 0,81032) \times (1 - 0,74201)\}$$

$$= 1 - 0,00563 = 0,99437 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps, 1 - 0,99437 = 0,00563 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,00563 \times 365 = 2,05 \text{ hari/tahun}$$

14. Pada Bus D, saluran 1-5 terhubung paralel dengan 2-4

$$Ps-3 = 1 - \{(1 - Ps-7) \times (1 - Ps-10)\} = 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,81032)\}$$

$$= 1 - 0,03597$$

$$= 0,96403 \text{ hari}$$

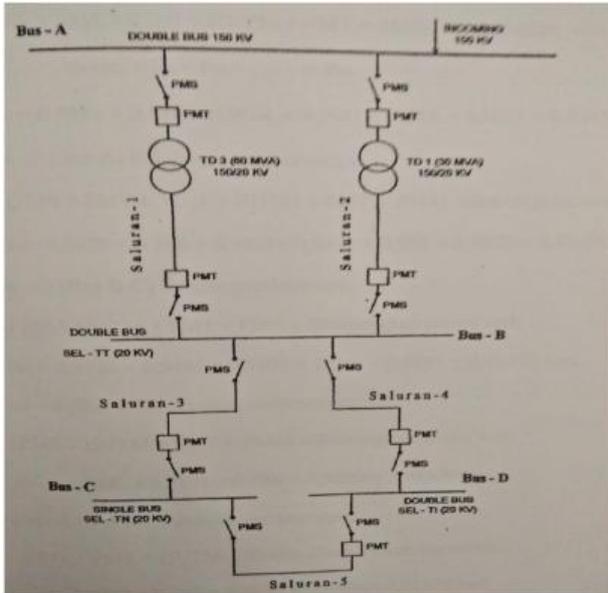
$$Pf = 1 - Ps, 1 - 0,96403 = 0,03597 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,03597 \times 365 = 13,12 \text{ hari/tahun}$$

Maka kemungkinan terjadinya kegagalan selama setahun pada sistem –III adalah :

$$Pf \text{ total} = 2,05 + 2,05 + 13,12 = 34,76 \text{ hari/tahun.}$$

d. Sistem IV



Gambar 5. Konfigurasi system IV

Perhitungan pada sistem -IV

1. Saluran -1 (Bus A-D) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-3 + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps - \text{seri} = Ps1 \times Ps2 \times \dots \times Psn$$

$$Ps-1 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

2. Saluran -2 (Bus A-B) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-1 + HUTM + PMT + PMT),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-2 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

3. Saluran -3 (Bus B-C) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-3 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

4. Saluran -4 (Bus B-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-4 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

5. Saluran -5 (Bus C-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-5 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

6. Satuan -1 dan saluran -3, dihubungkan secara seri :

$$Ps-6 = Ps-1 \times Ps-3 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

7. Saluran -1-3 dan saluran -5 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-7 = Ps-6 \times Ps-5 = 0,81031 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

8. Saluran -2-3-5 dan saluran -4 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-8 = Ps-7 \times Ps-4 = 0,74201 \times 0,91570 = 0,6794 \text{ hari}$$

9. Saluran -2 dan saluran -4 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-9 = Ps-2 \times Ps-4 = 0,88942 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

10. Saluran -2-4 dan saluran -5 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-10 = Ps-10 \times Ps-5 = 0,81031 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

11. Saluran -2-4-5 dan saluran -3 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-11 = Ps-10 \times Ps-3 = 0,74201 \times 0,91570 = 0,67945 \text{ hari}$$

12. Pada Bus B, saluran -1 terhubung paralel dengan saluran -2 :

$$Ps-1 = 1 - \{(1 - Ps-1) \times (1 - Ps-2)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,88492) \times (1 - 0,88492)\}$$

$$= 1 - 0,00563$$

$$= 0,99437 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,98676 = 0,01324 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,01324 \times 365 = 4,83 \text{ hari/tahun}$$

13. Pada Bus C, saluran 1 -3 dan terhubung paralel dengan saluran 2-4-5 :

$$Ps-2 = 1 - \{(1 - Ps-6) \times (1 - Ps-10)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,74201)\}$$

$$= 1 - 0,04893$$

$$= 0,95107 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,95107 = 0,04893 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,04893 \times 365 = 17,85 \text{ hari/tahun}$$

14. Pada Bus D, saluran 1-3-5 terhubung paralel dengan 2-4

$$Ps-3 = 1 - \{(1 - Ps-7) \times (1 - Ps-9)\} = 1 - \{(1 - 0,74201) \times (1 - 0,81032)\}$$

$$= 1 - 0,04893$$

$$= 0,95107 \text{ hari}$$

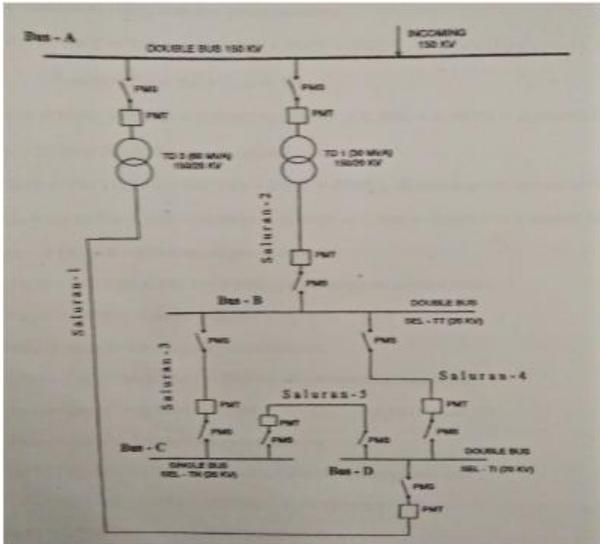
$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,95107 = 0,04893 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,04893 \times 365 = 17,85 \text{ hari/tahun}$$

Maka kemungkinan terjadinya kegagalan selama setahun pada sistem -IV adalah :

$$Pf \text{ total} = 4,83 + 17,85 + 17,85 = 40,53 \text{ hari/tahun.}$$

e. Sistem V



Gambar 6 .Konfigurasi system V

Perhitungan pada sistem –V :

1. Saluran -1 (Bus A-D) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-3 + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps - \text{seri} = Ps1 \times Ps2 \times \dots \times Psn$$

$$Ps-1 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

2. Saluran -2 (Bus A-B) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + TD-1 + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-2 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9801 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,88492 \text{ hari}$$

3. Saluran -3 (Bus B-C) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-3 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

4. Saluran -4 (Bus B-D) dengan peralatannya,

(PMS + HUTM + PMT + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-4 = 0,9892 \times 0,9491 \times 0,986 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

5. Saluran -5 (Bus C-D) dengan peralatannya,

(PMS + PMT + HUTM + PMS),
dihubungkan secara seri :

$$Ps-5 = 0,9892 \times 0,986 \times 0,9491 \times 0,9892 = 0,91570 \text{ hari}$$

6. Satuan -1 dan saluran -4, dihubungkan secara seri :

$$Ps-6 = Ps-1 \times Ps-4 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

7. Saluran -1 dan saluran -5 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-7 = Ps-1 \times Ps-5 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

8. Saluran -2-5 dan saluran -3 , dihubungkan secara seri :

$$Ps-8 = Ps-7 \times Ps-3 = 0,81032 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

$$Ps-9 = Ps-2 \times Ps-4 = 0,88942 \times 0,91570 = 0,81032 \text{ hari}$$

$$Ps-10 = Ps-2 \times Ps-3 = 0,88492 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

$$Ps-11 = Ps-10 \times Ps-5 = 0,81032 \times 0,91570 = 0,74201 \text{ hari}$$

12. Pada Bus B, saluran -2 terhubung paralel dengan saluran -1-4 dan terhubung paralel dengan saluran -1-5-3 :

$$Ps-1 = 1 - \{(1 - Ps-2) \times (1 - Ps-6) \times (1 - Ps-8)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,88492) \times (1 - 0,81032) \times (1 - 0,81032)\}$$

$$= 1 - 0,00563$$

$$= 0,99437 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,99437 = 0,00563 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,00563 \times 365 = 2,05 \text{ hari/tahun}$$

13. Pada Bus C, saluran 1 -5 dan terhubung paralel dengan saluran 2-3 :

$$Ps-2 = 1 - \{(1 - Ps-7) \times (1 - Ps-10)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,81032) \times (1 - 0,81032)\}$$

$$= 1 - 0,03597$$

$$= 0,96403 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,96403 = 0,03597 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,03597 \times 365 = 13,12 \text{ hari/tahun}$$

14. Pada Bus D, saluran -1 terhubung paralel dengan 2-4 dan terhubung paralel dengan saluran 2-3-5 :

$$Ps-3 = 1 - \{(1 - Ps-1) \times (1 - Ps-9) \times (1 - Ps-11)\}$$

$$= 1 - \{(1 - 0,88492) \times (1 - 0,81032) \times (1 - 0,74201)\}$$

$$= 1 - 0,00563$$

$$= 0,99437 \text{ hari}$$

$$Pf = 1 - Ps = 1 - 0,99437 = 0,00563 \text{ hari}$$

$$Pf \times \text{tahun} = 0,00563 \times 365 = 2,05 \text{ hari/tahun}$$

Maka kemungkinan terjadinya kegagalan selama setahun pada sistem –V ini adalah :

$$Pf \text{ total} = 2,05 + 13,12 + 2,05 = 17,22 \text{ hari/tahun.}$$

Dari hasil perhitungan sistem-sistem gambar one-line diatas, maka kemungkinan kegagalan sistem (Pf) dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 3. Prediksi Kegagalan Sistem

NO	Konfigurasi Sistem-Sistem	Kemungkinan Kegagalan Pf (Hari / Tahun)			Total Kegagalan (Hari/Tahun)
		Bus-B	Bus-C	Bus-D	
1	Sistem-1	7,96	38,06	7,96	53,98
2	Sistem-2	10,82	10,82	13,12	34,76
3	Sistem-3	2,05	2,05	13,12	17,22
4	Sistem-4	4,83	17,87	17,85	40,53
5	Sistem-5	2,05	13,12	2,05	17,22

4. KESIMPULAN

Setelah mempelajari dan membahas tentang peralatan keandalan pengaman pada jaringan distribusi, maka kesimpulan adalah :

1. Keandalan pada suatu pengaman peralatan listrik harus mampu bekerja dengan andal dan tepat dalam operasinya untuk setiap saat dan setiap tingkatan gangguan pada setiap bagian yang mungkin menjadi lokasi gangguan.
2. Penggunaan peralatan pengaman pada jaringan distribusi bertujuan untuk memperkecil daerah pemutusan akibat gangguan permanent (tetap).
3. Penempatan (pemasangan) peralatan harus disesuaikan dengan nilai atau harga arus gangguan hubung singkat, sistem pengaman proteksi dan penyebab gangguan peralatan pangaman distribusi.
4. Dari uraian dan hasil perhitungan diatas terhadap dari berbagai macam bentuk konfigurasi gambar, sistem diagram satu garis dari distribusi sistem tenaga. Dimana sebagai contoh aplikasi yang digunakan dalam sistem Gardu Induk. Dan dari sistem ini dilakukan berbagai langkah penganalisaan untuk mendapatkan perbandingan-perbandingan keandalan yang lebih tepat.
5. Dari hasil contoh perhitungan yang dilakukan penulis tugas akhir ini, diperoleh bahwa sistem ke-V adalah sistem kelistrikan terbaik dengan keandalan tertinggi diantaranya, dimana untuk membentuk sistem dasar menjadi sistem ke-V ini tidak terlalu rumit dari segi ekonomisnya tidak terlalu mahal.

Sistem ke-V adalah sistem yang paling handal, karena sistem ini mempunyai total keandalan yang maksimum dan total kegagalan yang minimum hanya 17,22 hari/tahun sedangkan sistem yang memiliki total kegagalan yang paling tinggi adalah sistem ke-I karna pada sistem ini mempunyai total kegagalan 53,98 hari/tahun, sehingga V ini yang paling handal.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASNI/IEEE Std, **IEEE Recommended Practice For Design Of Realiabile Industrial and Commersial Power Sistem** , 20 Desember 1979.
- [2] Djiteng Marsudi, Ir, **Operasi Sistem Tenaga Listrik**, Balai Penerbit & Humas ISTN, Jakarta Selatan.
- [3] Feller William, **Wiley Publication In Statistic** (an Introduction to Probability Theory and Its Aplications), Jhon Wiley & Sons, Inc. New York Second Edition Vol-1, Januari 1950.
- [4] Gonen Turan, **Electric Power Systems In Commercial Buildings**, IEEE Industry Aplications Society, 3rd Edition ,1983.
- [5] Pabla, A.S. **Sistem Distribusi Daya Listrik**, Penerbit Erlangga, Jakarta 1994.

[6] Sudjana, Prof. Dr. Ma. Mrc, **Methoda Sistematika**, Edisi Ke-6, Tarsito , Bandung 2000

[7] Pabla, A.S. **“Sistem Distribusi Daya Listrik”** Penerbit Erlangga, Jakarta 1994.

Abdul, Kadir, **“Transmisi Daya Listrik”**, Universitas Indonesia (UI – Press) 1998

[8] Hutauruk, Ts, Ir, Msc. **“Transmisi Daya Listrik”**, Erlangga , Jakarta 1985

[9] Stevenson, D.Wiliam ., **“Analisa Sistem Tenaga Listik”** Edisi Ke-2 Penerbit Erlangga.