

ANALISA KEANDALAN PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 kV

Suganda¹, Marsa Rizky Agus Prasetyo², Harlan Effendi³

Teknik Elektro S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Bumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
E-mail : suganda@istn.ac.id, marsarizky@gmail.com, harlan@istn.ac.id

ABSTRAK

Jaringan distribusi merupakan sebuah sistem yang melakukan pengiriman dan pembagian energi listrik melalui suatu jaringan dan perlengkapannya kepada pelanggan. Dalam pendistribusian tidak bekerja secara maksimal. Hal ini dapat dilihat dari jumlah gangguan distribusi yang terjadi pada jaringan distribusi. Pada tulisan ini, menghitung keandalan suatu penyulang pada penyulang Kemilau dengan metode SAIFI dan SAIDI. Hasil dari perhitungan menggunakan metode tersebut dan teori yang dikeluarkan oleh SPLN didapatkan yaitu, $f = 0,589$ pemadaman / tahun dan $d = 0,364$ jam / tahun. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut dinyatakan handal.

Kata kunci : Jaringan distribusi, Saidi, Saifi, Sistem Distribusi 20 kV.

ABSTRACT

A distribution network is a system that delivers and distributes electrical energy through a network and its equipment to customers. Distribution does not work optimally. This can be seen from the number of distribution disruptions that occur in the distribution network. In this article, calculate the reliability of a refiner on the sheen turtle with the SAIFI and SAIDI methods. The results of calculations using such methods and the theory issued by SPLN are obtained i.e., $f = 0.589$ blackouts /years and $d = 0.364$ hours /year. Based on the results of these calculations are declared reliable.

Keywords: Distribution Network, Saidi, Saifi, Distribution System 20 kV.

I. PENDAHULUAN

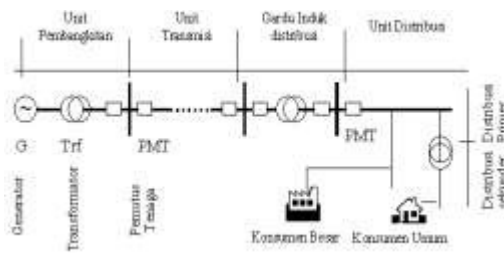
Pada saat ini energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Dari tahun ke tahun dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan pembangunan di sektor bisnis, industri, kesehatan sejalan dengan bertambahnya jumlah pemukiman baru untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang semakin hari semakin meningkat, sehingga sangat penting untuk meningkatkan mutu dan kualitas penyaluran daya listrik. Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang maka ditetapkan suatu indeks keandalan yaitu besaran untuk membandingkan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks-indeks keandalan yang sering dipakai dalam suatu sistem distribusi adalah *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*, *System Average Interruption Duration Index (SAIDI)*, sebagai acuan penentuan indeks yaitu berdasarkan Standar PLN yang

nantinya digunakan sebagai tolak ukur tingkat keandalan sistem distribusi.

II. LANDASAN TEORI

2.1. Penyaluran Energi Listrik

Pertambahan jumlah penduduk di Indonesia semakin hari semakin bertambah, apa lagi dengan bertambah nya pembangunan yang ada di sektor perumahan, bisnis, pendidikan, industri, transportasi dan kesehatan, maka dari itu PT. PLN (Persero) berperan sangat penting untuk menjaga keberlangsungan penyaluran daya ke pada masyarakat. Sistem distribusi harus di dukung dengan adanya peralatan atau komponen yang efektif dan efisien dalam menunjang penyaluran distribusi listrik ke konsumen. Sistem Penyaluran Daya Listrik ini berawal dari pusat-pusat listrik sebagai penyuplai daya untuk di salurkan ke konsumen melalui GI yang akan di kirimkan, terlihat seperti Gambar 2.1.



Gambar 1 Penyaluran Sistem Distribusi

2.2.Persyaratan dalam Sistem Distribusi

Persyaratan yang harus di penuhi dalam Sistem Distriusi Tenaga Listrik Dalam menunjang terciptanya peningkatan kualitas, keterandalan, dan pelayanan tenaga listrik terhadap konsumen, maka dari itu diperlukan persyaratan sistem distribusi tenaga listrik yang memenuhi alasan-alasan teknis, ekonomis, dan sosial sehingga dapat memenuhi standar kualitas dari sistem pendistribusian tenaga listrik tersebut. Adapun syarat-syarat sistem distribusi tenaga listrik tersebut adalah :

2.2.1.Faktor Keterandalan Sistem

- a.Kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke konsumen harus terjamin selama 24 jam terus-menerus. Persyaratan ini cukup berat, selain harus tersedianya tenaga listrik pada Pusat Pembangkit Tenaga Listrik dengan jumlah yang cukup besar, juga kualitas sistem distribusi tenaga listrik harus dapat diandalkan, karena digunakan secara terus-menerus.
- b.Setiap gangguan yang terjadi dengan mudah dilacak dan diisolir sehingga pemadaman tidak perlu terjadi. Untuk itu diperlukan alat-alat pengaman dan alat pemutus tegangan (*air break switch*) pada setiap wilayah beban.
- c.Sistem proteksi dan pengaman jaringan harus tetap dapat bekerja dengan baik dan cepat.

2.2.2.Faktor Pemeliharaan Sistem

- a.Kontinuitas pemeliharaan sistem perlu dijadwalkan secara berkesinam-bungan sesuai dengan perencanaan awal yang telah ditetapkan, agar kualitas sistem tetap terjaga dengan baik.
- b.Pengadaan material listrik yang dibutuhkan hendaknya sesuai dengan jenis/spesifikasi material yang dipakai, sehingga bisa dihasilkan kualitas sistem yang lebih baik dan murah.

2.2.3.Faktor Kualitas Sistem

- a.Kualitas tegangan listrik yang sampai ke titik beban harus memenuhi persyaratan minimal untuk setiap kondisi dan sifat-sifat beban. Oleh karena itu diperlukan stabilitas tegangan (*voltage regulator*) yang bekerja secara otomatis untuk menjamin kualitas tegangan sampai ke konsumen stabil.
- b.Untuk mengatasi tegangan jatuh atau tegangan drop di daerah beban yang terlalu padat diberikan beberapa *voltage regulator* untuk menstabilkan tegangan.
- c.Kualitas peralatan listrik yang terpasang pada jaringan dapat menahan tegangan lebih (*over voltage*) dalam waktu singkat.

2.2.4.Faktor Perencanaan Sistem Perencanaan

jaringan distribusi harus dirancang semaksimal mungkin, untuk perkembangan dikemudian hari. Persyaratan sistem distribusi seperti diatas hanya bisa dipenuhi bila tersedia modal (investasi) yang cukup besar, sehingga sistem bisa dilengkapi dengan peralatan-peralatan yang mempunyai kwalits tinggi. Selain pemeliharaan sistem yang berkesinambungan sesuai jadwal yang ditentukan, seringkali berakibat fatal pada sistem jaringan justru karena kelalaian dalam cara pemeliharaan yang sebenarnya, di samping peren-canaan awal yang kurang memenuhi syarat. Untuk sistem tenaga listrik yang besar (*power utility*) biaya untuk sistem distribusi bisa mencapai 50 % - 60 % investasi keseluruhan yang diperlukan untuk sistem tenaga listrik. Apalagi sistem distribusi merupakan bagian yang paling banyak mengalami gangguan-gangguan sehingga bisa mengganggu kontinuitas aliran tenaga listrik pada konsumen.

2.2.5.Faktor Keselamatan Sistem dan Publik

- a.Keselamatan penduduk dengan adanya jaringan tenaga listrik harus terjamin dengan baik. Artinya, untuk daerah padat penduduknya di perlukan rambu-rambu pengaman dan peringatan agar penduduk dapat mengetahui bahaya listrik. Selain itu untuk daerah yang sering mengalami gangguan perlu dipasang alat pengaman untuk dapat meredam gangguan tersebut secara cepat dan terpadu.
- b.Keselamatan alat dan perlengkapan jaringan yang dipakai hendaknya memiliki kualitas yang baik dan dapat meredam secara cepat bila terjadi gangguan pada sistem

jaringan. Untuk itu diperlukan jadwal pengontrolan alat dan perlengkapan jaringan secara terjadwal dengan baik dan berkesinambungan.

2.3.Konfigurasi Jaringan di Sistem

Distribusi 20 kV

Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai tiga konsep konfigurasi yaitu jaringan radial, jaringan lingkaran (loop) dan jaringan anyam (mesh atau grid). Dalam penggunaannya di lapangan atau penerapan macam konfigurasi jaringan tersebut dapat berupa kombinasi dari ketiganya. Pemilihan macam konfigurasi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) tergantung pada kualitas pelayanan yang di inginkan. Kualitas pelayanan mempunyai beberapa unsur antara lain keberlangsungan pelayanan, pengaturan tegangan dan tegangan kedip yang diizinkan. Konfigurasi jaringan pada suatu system distribusi dapat menentukan keandalan pelayanan. Berikut macam-macam konfigurasi jaringan pada jaringan distribusi :

2.3.1.Jaringan Radial

Sistem distribusi dengan pola Radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini umumnya merupakan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), sedangkan untuk Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) jumlahnya lebih sedikit.

2.3.2.Jaringan Lingkaran (Loop)

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) ini yang berawal dari suatu tempat tetapi memiliki dua penyulang, sehingga dengan demikian jika ada gangguan di salah satu penyulang pada gardu distribusi maka akan dapat di gantikan dan di isi beban oleh sumber dari penyulang gardu distribusi lain nya yang tidak terjadi gangguan sebagai cadangan.

2.3.3.Jaringan Spindel

Suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang

menggunakan kabel tanah/Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial.

2.3.4.Jaringan Gugus (Cluster System)

Jaringan ini merupakan sistem variasi dari spindel, dimana bentuk sistem ini menyerupai sistem spindel. Tetapi sistem ini tidak mempunyai gardu hubung khusus tetapi penyulang (*feeder*) ekspres dimanfaatkan sebagai gardu hubung. Penyulang cadangan ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.

2.4.Komponen Utama Pada Sistem

Distribusi

Komponen utama pada sistem distribusi, yaitu pertama transformator merupakan suatu alat yang andal dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik (AC) dari satu tingkat ke tingkat lainnya, pada umumnya transformator terdiri dari sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu, biasanya kumparan dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan tersebut terbuat dari kawat tembaga yang di belitkan, dalam bidang teknik listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

a.Transformator daya, yaitu transformator yang biasa digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.

a.Transformator distribusi, yaitu transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

c.Transformator pengukuran, yaitu transformator yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan.

Kedua adalah penghantar adalah suatu benda yang berbentuk logam ataupun non logam yang bersifat konduktor atau dapat menghantarkan arus listrik dari satu titik ke titik lain nya.penghantar untuk kabel biasanya terbuat dari tembaga dan almunium,untuk pengantar ini sendiri terbagi menjadi dua, yaitu :

a.Penghantar Saluran Udara

Jenis penghantar dengan penghantar kawat telanjang yang melayang di udara dan ditopang dengan menggunakan tiang-tiang.

Jenis penghantar saluran udara yang umum digunakan ialah AAAC (*All Aluminium Alloy Conductors*), AAC (*All Aluminium Conductors*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced Conductors*). Jenis penghantar ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced Conductors*) tidak secara luas dipergunakan sebagai penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah.

b. Penghantar Saluran Kabel Bawah Tanah
Jenis penghantar dengan penghantar kawat yang diselubungi oleh pvc dan penempatannya dibawah tanah yaitu menggunakan jenis penghantar XLPE (*X Cross Linked Poly Ethylene*). Kabel yang ditanam langsung di tanah pada kedalaman tertentu dan diberi pelindung terhadap pengaruh mekanis dari luar, penghantar tanah ini memiliki isolasi yang mampu menahan tegangan tembus yang di timbulkan.

Ketiga Pemisah Tenaga (PMS) berfungsi sebagai saklar yang membuka dan menutup aliran listrik 20 kV tanpa ada beban, karena kontak penghubung tidak di lengkapi dengan alat peredam busbar api.

Keempat Circuit Breaker (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan listrik atau saklar (*switching*) mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*). Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

Kelima Gardu Distribusi (GD) merupakan bangunan gardu listrik yang terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para

pelanggan baik pelanggan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380 V).

Keenam Gardu Hubung (GH) atau *Switching Substation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendalian beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk mempertahankan kontinuitas pelayanan. Isi Gardu Hubung terdiri dari rangkaian saklar beban (*Load Break Switch*), pemutus tenaga yang terhubung paralel, sarana pemutus beban pelanggan khusus Tegangan Menengah dan dilengkapi dengan dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusi.

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1. Keandalan Jaringan

Pada sistem distribusi itu sendiri harus di dukung oleh komponen-komponen yang handal dalam pengoperasiannya, ada beberapa komponen yang terdapat pada sistem distribusi, Pada jaringan tegangan menengah terdapat beberapa komponen yang membantu proses penyaluran tenaga listrik ke pelanggan seperti gardu distribusi, di dalam Gardu Distribusi terdapat transformator step down yang menurunkan tegangan kirim dari Gardu Induk. Ada dua indeks keandalan yang paling sering di gunakan dalam sistem tenaga listrik yaitu:

a. Indeks frekuensi pemadaman rata rata (SAIFI)

b. Indeks lama pemadaman rata rata (SAIDI)
Indeks keandalan dapat juga di hitung berdasarkan jumlah komponen yang sama dengan cara tertentu, sebuah keluar rata-rata per komponen per tahun pelayanan. Nilai ini diperoleh dari laporan gangguan yang diharapkan setiap komponen dan juga dapat disesuaikan dengan angka-angka kegagalan komponennya. Laporan ini perlu dalam rangka pencegahan dan program penggantian komponen.

Selain kegagalan pada komponen, ada juga faktor kegagalan yang di sebabkan dari faktor lain di antaranya adalah dari faktor manusia, hewan, cuaca / alam dan kegagalan karna kompoen, faktor-faktor ini lah yang membuat atau penyebab dari gangguan pemadaman yang terjadi pada sistem pendistribusian listrik ke pelanggan.

3.2.Sistem Jaringan Distribusi

Berikut ini beberapa definisi dasar yang sering digunakan dalam membuat laporan maupun dalam menganalisa pemadaman dari sistem distribusi tenaga listrik dengan berbagai fasilitasnya, yaitu:

1.Pemadaman (*Interruption of Supply*) yaitu terhentinya pelayanan pada satu atau lebih pelanggan, akibat dari satu atau lebih komponen mendapatkan gangguan.

2.Lama Pemadaman (*Interruption Duration*) yaitu waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman sampai saat menyala lagi. Adapun yang dianggap pemadaman adalah pemadaman sebagai akibat kegagalan menetap baik yang darurat maupun yang terencana.

3.Keluar (*Outtage*) yaitu keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, komponen tidak berfungsi dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini tergantung konfigurasi sistem.

3.Kegagalan Parsial (*Partial Failure*) yaitu kegagalan parsial menggambarkan kondisi sebuah komponen yang bekerjanya tidak sama dengan kapasitas kemampuan semestinya, tetapi tidak berarti tidak bisa bekerja sama sekali.

4.Kegagalan Total (*Complete Failure*) yaitu kegagalan total menggambarkan kondisi sebuah komponen yang sama sekali tidak bisa bekerja.

5.Keluar Paksa Transient (*Transient Forced Outage*) yaitu keluar yang penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya, sehingga alat atau komponen yang gagal bisa berfungsi normal kembali, bisa secara atau pelepas diganti. Contoh keluar darurat transien ialah sambaran petir yang tidak menyebabkan alat atau komponen mengalami kerusakan.

6.Lama Keluar Paksa Transient (*Transient Forced Outage Duration*) yaitu Waktu yang diperlukan dari saat permulaan komponen mengalami keluar komponen mendapat perbaikan.

14.Indeks Frekuensi Pemadaman Pelanggan (*Coustemer interruption Index*) yaitu jumlah pemadaman rata-rata yang didasarkan pada pengalaman per pelanggan per satuan waktu,dapat dihitung dengan membagi jumlah yang mengalami

7.Pemadaman Paksa (*Forced Interruption*) yaitu pemadaman yang disebabkan oleh keluar darurat.

8.Pemadaman Terencana (*Schedule Interruption*) yaitu pemadaman yang disebabkan oleh keluar terencana.

9.Lama Keluar Terencana (*Schedule Outage Duration*) yaitu waktu yang diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan yang telah direncanakan.

10.Pemadaman Sejenak (*Momentary Interruption*) yaitu pemadaman yang waktunya terbatas, diperlukan hanya untuk mengembalikan supply dengan cara otomatis dengan cara pengaturan jarak jauh atau dengan cara manual yang langsung dikerjakan oleh operator yang sudah siap ditempat pemadaman ini biasanya memerlukan waktu tidak lebih dari 5 menit.

11.Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*) yaitu pemadaman yang waktunya terbatas, diperlukan hanya untuk mengembalikan supply dengan cara manual yang langsung dikerjakan oleh operator yang tidak siap ditempat. Pemadaman ini biasanya memerlukan waktu 1-2 jam.

12.Pemadaman bertahan (*temporary interruption*) yaitu pemadaman yang bukan pemadaman sejenak dan bukan pemadaman temporer. Sampai saat ini belum ada suatu cara membuat laporan standard yang luas di pakai untuk membuat laporan keluaran (*Outage*). Setiap perusahaan (yang mengelola listrik) mempunyai standar sendiri-sendiri untuk setiap jenis pelanggan dan mempunyai metode sendiri dalam menyelesaikan laporan keluar (*outage*) dan juga dalam mengumpulkan data statistiknya.

13.Indeks Frekuensi Pemadaman Sistem (*System Interruption Index*) yaitu jumlah rata-rata pemadaman perpelanggan persatuan waktu. Ini dapat dihitung dari jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dalam satu tahun dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani. pemadaman yang diamati dalam satu tahun dengan jumlah pelanggan yang dilayani.

15.Indeks Pemadaman Beban (*Load Interruption Index*) yaitu pemadaman beban tersambung rata-rata per beban tersambung yang dilayani

15. Indeks Lama Pemadaman Rata-rata Pelanggan (*Coustemer Interruption Duration*) yaitu umlah lamanya pemadaman yang dialami oleh pelanggan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani.

Pada umumnya terdapat beberapa perbedaan tingkat kegagalan yang di prakirakan dan tingkat kegagalan dari hasil pengamatan, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Definisi kegagalan,
2. Lingkungan sebenarnya dibandingkan lingkungan yang di prakirakan.,
3. Keterampilan dalam pemeliharaan, peralatan pengujian dan petugas khusus,
4. Komposisi komponen dan tingkat kegagalan yang dipakai dalam memperbaiki,
5. Proses pembuatan komponen termasuk inspeksi dan kendali mutu.
6. Distribusi waktu terhadap kegagalan,
7. Komponen yang bebas dari kegagalan.

Terkait dengan pelanggan dipergunakan indeks keandalan yaitu SAIFI (*System Average Interruptions Durations Index*), indeks SAIFI dan SAIDI tersebut memberikan deskripsi pemadaman rata-rata terhadap keseluruhan pelanggan. SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruptions Durations Index*) Tingkat kontinuitas pelayanan dari sarana penyalur berdasarkan upaya memulihkan kembali pensuplaian setelah mengalami pemadaman gangguan, tingkatan-tingkatan tersebut dapat dilihat pada Table 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Tingkat Kontinuitas Pelayanan dari Sarana Penyalur Disusun Berdasarkan Lamanya Upaya Mengalami Gangguan.

No	Tingkat	Keterangan
1	Tingkat 1	Dimungkinkan padam berjam-jam yaitu waktu yang diperlukan untuk mencari dan memperbaiki bagian yang rusak karena gangguan.
2	Tingkat 2	Padam beberapa jam yaitu waktu diperlukan untuk mengirim petugas kelapangan untuk kelokalisasi gangguan dan melakukan manipulasi pencatutan jaringan guna dapat dihidupkan
3	Tingkat 3	Padam beberapa menit, manipulasi oleh petugas yang siap siaga di gardu atau melakukan deteksi/pengukuran dan pelaksanaan manipulasi jarak jauh.
4	Tingkat 4	Padam beberapa detik, pengaman dan manipulasi secara otomatis.
5	Tingkat 5	Tanpa padam, dilengkapi instalasi cadangan terpisah dan dengan otomatis penuh. Tingkat keandalan dapat dianggap memadai, bila tidak ada biaya tambahan pemadaman yang melebihi biaya yang timbul akibat pemadaman tersebut terhadap para pelanggan. Jadi tingkat keandalan yang memadai dari pelanggan secara perspektif dapat didefinisikan sebagai tingkat keandalan yang bila jumlah biaya untuk investasi ditambah biaya dari pemadaman akan minimum.

Dalam keberlangsungan penyaluran sistem distribusi terdapat pemeriksaan jalur penyaluran yang dilakukan, berikut daftar pemeriksaanya pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Checklist Pemeriksaan Teknis Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)

No	Parameter Pemeriksaan	Suatu	Hasil Pemeriksaan
1.	Pemeriksaan Instalasi		
	a. Spesifikasi Teknik kabel		
	b. Gambar single line diagram		
	c. Gambar rasio jaringan dengan sistem tenaga listrik		
	d. Hasil uji petrik kabel dan sertifikat produk		
2.	Pemeriksaan Keamanan Dasar		
	a. Keatraksi		
	b. Sistem pemeliharaan		
3.	Pemeriksaan Visual		
	a. Integritas kabel		
	b. Perlengkapan K2		
	c. Perawatan peralatan		
	d. Tanda jalar kabel		
	e. Tanda awning kabel		
4.	Kontrol Hasil Uji Keandalan		
	a. Pengukuran taburan isolasi		
	b. Pemantauan label tanah		
	c. Awning kabel		
	d. Sertifikat pengujian pelaksanaan pekerjaan awning		

3.3 Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-Rata (SAIFI)

Indeks frekuensi pemadaman rata-rata merupakan indeks yang menyatakan banyaknya gangguan yang terjadi dalam selang waktu tertentu berdasarkan peralatan dari suatu sistem secara keseluruhan. Indeks keandalan ini dapat juga dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman, berdasarkan rumus :

$$f_{tahun} = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i \text{ pemadaman/tahun} \dots\dots (3.1)$$

Dengan:

f = Indeks frekuensi pemadaman rata-rata

C_i = jumlah perunit yang padam

X_i = panjang penyulang (km) atau jumlah unit komponen (pu)

λ_i = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman (indeks dari komponen)

n = banyak nya komponen yang keluar

Tabel.3.3.Perkiraan Angka Keluar Komponen Sistem Distribusi

KOMPONEN	ANGKA KELUAR (λ)
Saluran kabel	0,2 km/tahun
Kabel bawah tanah	0,07 km/tahun
Pemutus Tenaga (PMT)	0,004 km/tahun
Saklar beban (LBS)	0,003 unit/tahun
Saklar pisah (PMS)	0,003 unit/tahun
Penutup balik (recloser)	0,005 unit/tahun

Penyambungan kabel (terminal)	0,001 unit/tahun
Trafo distribusi	0,005 unit/tahun
Pelindung jaringan (FCO)	0,005 unit/tahun
Rel Tegangan Rendah	0,001 unit/tahun

SPLN 59 : 1985 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV

Selain menghitung indeks frekuensi pemadaman rata-rata dengan menggunakan angka keluar komponen, SAIFI juga bisa dihitung berdasarkan pemadaman penyulang yang terjadi di lapangan dengan rumus sebagai berikut :

$$f = \frac{(\text{frekuensi padam}) \cdot (\text{pelanggan padam})}{\text{jumlah pelanggan}}$$

$$f = \frac{\sum_{i=1}^m C_i}{N} \text{ pemadaman/tahun pelanggan} \dots\dots (3.2)$$

Dengan :

f = Indeks frekuensi pemadaman rata-rata

m = jumlah pemadaman dalam satu tahun

C_i = jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman

N = jumlah pelanggan yang di layani dalam satu penyulang

3.4. Indeks Lama Pemadaman Rata-Rata (SAIDI)

Indeks keandalan ini dapat di hitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman dan waktu pemulihan pelayanan dengan rumus Indeks lama pemadaman rata-rata merupakan suatu indeks yang menyatakan lamanya gangguan yang terjadi dalam selang waktu tertentu (1 tahun) berdasarkan peralatan dari suatu sistem secara keseluruhan. Indeks keandalan ini dapat juga dihitung dari angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman dan waktu pemulihan pelayanan, berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$d = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i (\sum_{j=1}^m C_{ij} t_{ij}) \text{ jam/tahun} \dots\dots 3.3$$

Dengan

n = jumlah komponen yang keluar

X_i = panjang penyulang (km) atau jumlah unit komponen (pu)

m = jumlah dari fungsi kerja yang mengalami pemadaman selama operasi kerja

C_{ij} = pelanggan per unit yang mengalami emadam selam operasi kerja

t_{ij} = waktu yang diperlukan selama operasi kerja pemulihan pelayanan

λ_i = angka keluar komponen yang menyebabkan pemadaman (indeks dari komponen)

Untuk mengetahui nilai SAIDI dari angka keluaran komponen di butuhkan waktu yang di perlukan selama beroperasi kerja pemulihan pelayanan saat terjadi pemadaman dapat di ketahui dan selain itu SAIDI dapat menghitung indeks lama pemadaman rata rata dengan menggunakan angka keluar komponen, SAIDI juga bisa di hitung berdasarkan pemadaman penyulang yang terjadi di lapangan dengan rumus pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.4.Waktu Opresi Kerja dan Pemulihan Palayanan

	OPERASI KERJA	WAKTU (JAM)
A1	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke GI	0,5
A2	Menerima panggilan adanya pemadaman dan waktu yang dibutuhkan untuk perjalanan ke PBO	0,1
B	Waktu yang dibutuhkan untuk sampai dari satu gardu ke gardu berikutnya	0,16
C	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa indikator gangguan (pada konfigurasi spalla)	0,083
D	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa/menutup PMT atau PBO	0,25
E	Waktu yang dibutuhkan untuk memeriksa/menutup saklar beban atau saklar pisah	0,15
F	Waktu yang diperlukan untuk memperbaiki karat saluran udara	3
G	Waktu yang diperlukan untuk mencari lokasi gangguan pada kabel bawah tanah	5
H	waktu yang diperlukan untuk memperbaiki kabel bawah tanah	10
I	Waktu yang diperlukan untuk memperbaiki/mengganti PMT, PBO, Saklar pisah	10
J	Waktu yang diperlukan untuk mengganti penyambung kabel (walaupun)	15
K	Waktu yang diperlukan untuk mengganti trafo distribusi	10
L	Waktu yang diperlukan untuk mengganti pelindung jaringan	10
M	Waktu yang dibutuhkan untuk mengganti/memperbaiki rel tegangan rendah	10

SPLN 59 : 1985 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV

Selain menghitung indeks lama pemadaman rata rata dengan menggunakan angka keluar komponen SAIDI juga bisa di hitung berdasarkan pemadaman penyulang yang terjadi di lapangan dengan rumus sebagai berikut :

$$d = \frac{(\text{jam padam}) \cdot (\text{pelanggan padam})}{(\text{pelanggan pelanggan})}$$

Atau

$$d = \frac{\sum_{i=1}^m C_i t_i}{N} \text{ jam/ tahun/pelanggan -----3.4}$$

Dengan :

d = indeks durasi pemadaman rata rata

m = jumlah pemadaman dalam satu tahun

C_i = jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

t_i = lamanya setiap pemadaman

N = jumlah konsumen yang di layani

VI. PERHITUNGAN DAN ANALISA

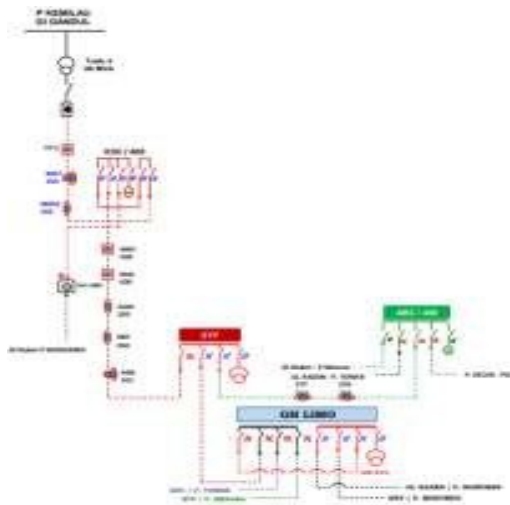
4.1. Data Penyulang

Penyulang merupakan jaringan tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dengan tegangan 20 kV dari Gardu Induk menuju Gardu Distribusi. Selanjutnya di Gardu Distribusi tegangan diturunkan menggunakan transformator menjadi 380/220 Volt, untuk disalurkan kepada pelanggan kecil. Selain pelanggan kecil terdapat juga pelanggan besar yang membutuhkan tegangan 20 kV langsung disalurkan dari Gardu Induk. Pada Gardu Induk 150 kV Gandul terdapat 4 buah transformator yang menyalurkan tenaga listrik ke sebagian daerah di Depok. Trafo I menampung 1 penyulang, Trafo II menampung 1 penyulang dan Trafo III menampung 2 Penyulang dan Trafo IV menampung 1 Penyulang, perpenyulang mampu menyalurkan tenaga listrik sekelurahan bahkan sampai sekecamatan tergantung faktor di daerahnya. Gardu Induk GI Gandul itu sendiri menangani 5 penyulang, yaitu P. Pelangi, P. Nona, P. Indah, P. Harmonis dan P. Kemilau.

Penelitian ini dilakukan pada salah satu penyulang yang ada di GI Gandul, yaitu pada penyulang Kemilau. Penyulang ini sendiri menyalurkan tenaga listrik ke Wilayah Depok di daerah Limo, Meruyung, Rangkapan jaya dimana daerah tersebut padat penduduk ditambah lagi dengan adanya perkantoran, perindustrian dan perumahan.

4.2. Single Line Diagram

Penyulang Kemilau memiliki daya sebesar 60 MVA dari GI Gandul untuk menyalurkan listrik ke konsumen. Pada penyulang ini diawali dari PMT sebagai pengaman jika ada terjadi gangguan sehingga tidak mengganggu peralatan listrik yang sedang beroperasi, seperti terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Single Line Diagram Penyulang Kemilau

4.2.1. Jumlah Konsumen Per gardu pada Penyulang Kemilau

Penyulang Kemilau mensuplai daya ke sejumlah pelanggan di wilayah kota Depok, terdapat pelanggan prabayar maupun pelanggan pascabayar pada Tabel 4.1. Berikut adalah data jumlah pelanggan per trafo.

Tabel 4.1. Data Jumlah Pelanggan Trafo

No	Nama trafo	Jumlah Pelanggan	Daya kVA trafo
1	DRQ	1	250
2	BWT	230	250
3	MRCS	1	250
4	MRY	2453	630
5	MAL	1138	630
6	SAM	520	250
7	RBV	2043	250
8	ARB	801	315
9	STT	62	250
10	STR	559	250
	Total	7.808	3.325

Dari total 10 nama gardu pada Tabel 4.1 dibagi menjadi 3 jenis, yaitu gardu tembok dengan jumlah pelanggan 3.592, gardu compac dengan jumlah pelanggan 1.031 dan gardu portal melayani pelanggan sebanyak 3.185 dari total ke 3 jenis gardu ini sebanyak 7.808 pelanggan yang dilayani. Selain jumlah pelanggan dalam penyulang Kemilau, terdapat komponen yang ada di dalamnya, di lihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komponen Penyulang Kemilau

No	Nama Komponen	Jumlah
1	Pemutus Tenaga (PMT)	1
2	SKTM	6,989 kms
3	Saklar Beban (LBS)	15
4	Saklar Pemisah (PMS)	15
5	Trafo	10
6	Rel TR	10

4.2.2. Data Gangguan Pada Penyulang Kemilau

Penelitian ini ditinjau dari data gangguan yang terjadi selama kurun waktu satu tahun belakangan ditahun 2019. Data gangguan ini berasal dari gangguan penyulang dan gangguan PMT. Sumber data diambil dari PLN UP3 Depok. Dari data yang telah di peroleh maka dapat di ketahui gangguan pada Tabel 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3. Data Gangguan Penyulang Kemilau

No	Tanggal	Jam Padam	Jam Nyala	Lama Padam	Jumlah Pelanggan Padam	Gangguan
1	18 Jan 2019	19:56	20:32	0,76	1204	Terputusnya saluran kabel, karna penggalian saluran
2	12 Jun 2019	22:40	23:39	0,99	833	Terputusnya sambungan kabel, karena penanganan manusia
3	24 Jul 2019	23:39	23:59	0,20	340	Belum di temukan
4	13 Ags 2019	19:38	21:07	1,69	260	Terputusnya sambungan kabel, karena penanganan manusia
5	2 Sep 2019	04:30	05:44	1,14	522	SKTM lepas dari isolator

4.3. Total lama pemadaman yang dialami penyulang Kemilau yaitu 4,78 jam, dan di dapati gangguan yang mendonimasi adalah dari faktor kegagalan pada komponen dan manusia.

4.3. Perhitungan Indeks Keandalan

Keandalan merupakan sistem tenaga listrik umumnya dinyatakan dalam indeks dari suatu besaran yang menyatakan penampilan sistem tenaga listrik. Indeks keandalan digunakan dalam sistem tenaga listrik adalah indeks frekuensi pemadaman rata-rata (f) dan indeks lama pemadaman rata-rata (d).

4.3.1. Perhitungan Indeks Keandalan

Berdasarkan Komponen dengan SAIFI dari data pada tabel 4.2 dapat dihitung indeks frekuensi pemadaman yang disebabkan oleh kegagalan komponen berdasarkan persamaan (3.2), yaitu:

$f = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i$ pemadaman / tahun
Berdasarkan rumus diatas didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut:
 $f = 1 \times 0,004 \times 1 = 0,004$ pemadaman / tahun

Tabel 4.4.Perhitungan Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-Rata

No	Jenis Komponen	Jumlah x_i	Angka Keluar λ_i	Pu sistem yang keluar c_i	Frekuensi Pemadaman f_i
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)=(c)x(d)x(e)
1	Pemutus	1	0,004	1	0,004
2	SKTM	6,989 kms	0,07	1	0,489
3	Saklar Beban	15	0,003	1	0,045
4	Saklar Pemisah	15	0,003	1	0,045
5	Trafo	10	0,005	1/10	0,005
6	Rel Trafo	10	0,001	1/10	0,001
Jumlah					0,589

Dengan itu maka didapat jumlah frekuensi pemadaman yang ada pada Tabel 4.4, sehingga di dapatkan nilai indeks frekuensi pemadaman rata-rata yaitu $f = 0,589$.

4.3.2.Perhitungan indeks Keandalan Berdasarkan Komponen dengan SAIDI

Untuk dapat memahami nilai lama pemadaman berdasarkan komponen dapat di pahami dengan menggunakan persamaan (3.3) untuk menghitung nilai lama pemadaman nya.

$d = \sum_{i=1}^n C_i X_i \lambda_i (\sum_{j=1}^m C_{ij} t_{ij})$ jam/tahun ..3.3

Setelah menjumlahkan nilai lama pemadaman pada tabel 4.5, didapatkan nilai indeks lama pemadaman rata-rata yaitu $d = 10,15843$ jam/tahun.
Berdasarkan rumus diatas maka dapat dilihat tabel 4.5

$d = 0,004 \times 0,5 = 0,002$ jam / tahun

Tabel 4.5. Perhitungan Indeks Lama Pemadaman Rata-Rata

No	Jenis Komponen	Frekuensi pemadaman f_i	Waktu t_i	Lama pemadaman d
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)=(c)x(d)
1	Pemutus	0,004	A=0,5 I=10	0,002 0,04
2	SKTM	0,489	A=0,5 F=5 G=15	0,244 2,445 7,335
3	Saklar Beban	0,003	E=0,15	0,00045
4	Saklar Pemisah	0,003	A=0,5 B=0,16 I=10	0,0015 0,00048 0,03
5	Trafo	0,005	K=10	0,05
6	Rel Trafo	0,001	M=10	0,01
Jumlah				10,15843

4.3.3.Perhitungan Indeks Keandalan Berdasarkan Pelanggan

Indeks keandalan berdasarkan pelanggan dapat dihitung apabila terdapat data gangguan pada sisi penyulang. Dari Tabel 4.3 didapat data gangguan sehingga indeks frekuensi pemadaman rata-rata dan lama pemadaman rata-rata berdasarkan pelanggan yang dilayani dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.3 dan 3.5) sebagai berikut :
Tabel 4.6. Perhitungan Indeks Frekuensi Pemadaman Rata-Rata dan Indeks Lama Pemadaman Rata-rata

No	Tanggal	Jam Padam	Jam Nyala	Lama Padam	Jumlah Pelanggan Padam	(Lama Padam) x (Pelanggan Padam)
1	18 Jan 2019	19:56	20:32	0,76	1204	915,04
2	12 Jun 2019	22:40	23:39	0,99	833	824,67
3	24 Jul 2019	23:39	23:59	0,20	340	68
4	13 Ags 2019	19:38	21:07	1,69	260	439,4
5	2 Sep 2019	04:30	05:44	1,14	522	595,08
Jumlah					3159	2842,19

Dari Tabel 4.6 perhitungan indeks frekuensi pemadaman rata-rata dan lama pemadaman rata-rata berdasarkan kondisi di lapangan.Indeks frekuensi pemadaman rata-rata adalah jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dalam waktu satu tahun dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani yaitu

$f = \frac{0,589 \times 3159}{7808} = 0,238$ pemdam/tahun/pelanggan

Indeks lama pemadaman rata-rata adalah jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman dikalikan dengan waktu padam, dalam waktu satu tahun dibagi dengan jumlah pelanggan yang dilayani, dalam bentuk persamaan (3.4)

$d = \frac{2842,19}{7808} = 0,364$ jam/tahun/pelangan

4.4.Analisa Perhitungan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat di analisis sebagai berikut:

1..Dalam perhitungan lama pemadaman berdasarkan komponen di peroleh indeks lama pemadaman $d = 10,15843$ jam / tahun/pelangan , sedangkan dalam realisasi di lapangan di peroleh indeks lama pemadaman $d = 0,364$ jam / tahun / pelanggan, dalam hal ini memperlihatkan lama pemadaman berdasarkan komponen jauh lebih tinggi di bandingkan lama pemadaman yang terjadi di lapangan dan lama pemadaman berdasarkan kondisi di lapangan jauh lebih rendah di banding lama pemadaman berdasarkan komponen.

2. Dalam perhitungan frekuensi pemadaman berdasarkan komponen di peroleh indeks frekuensi pemadaman $f = 0,589$ pemadaman / tahun, sedangkan dalam realisasi di lapangan di peroleh indeks frekuensi pemadaman $f = 0,238$ pemadaman / tahun / pelanggan, dalam hal ini memperlihatkan bahwa frekuensi pemadaman berdasarkan komponen jauh lebih tinggi di bandingkan frekuensi pemadaman yang terjadi di lapangan dan frekuensi pemadaman berdasarkan kondisi di lapangan jauh lebih rendah di banding frekuensi pemadaman berdasarkan komponen.

3. Berdasarkan SPLN 59:1985 tentang keandalan sistem distribusi 20kV dikatakan andal adalah $\leq 1,199$, dan perhitungan frekuensi pemadaman berdasarkan dari komponen dengan SAIFI, diperoleh indeks frekuensi pemadamaan $f = 0,238$ pemadaman / tahun / pelanggan, maka dari hasil perhitungan tersebut pada penyulang Kemilau dapat dikatakan andal.

4. Pada perhitungan durasi pemadaman berdasarkan dari komponen dengan SAIDI, diperoleh indeks durasi pemadamaan $d = 0,364$ jam / tahun / pelanggan, sesuai dengan SPLN 59:1985 tentang keandalan 20 kV dikatakan andal adalah $\leq 4,364$, berdasarkan hasil perhitungan tersebut pada penyulang Kemilau dapat dikatakan andal.

5. Pada data Tabel 4.3. terdapat 5 gangguan dalam satu tahun, 1 kali kegagalan pada komponen, 3 kali kegagalan yang di sebabkan oleh manusia dan 1 kali kegagalan yang belum dapat di ketahui penyebabnya, maka dapat dilihat pada grafik gangguan selama satu tahun pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik Data Gangguan

V.SIMPULAN

1. Dalam perhitungan lama pemadaman berdasarkan komponen di peroleh indeks lama pemadaman $d = 10,15843$ jam / tahun, sedangkan dalam realisasi di lapangan di peroleh indeks lama pemadaman $d = 0,364$ jam / tahun / pelanggan, Hal ini memperlihatkan bahwa lama pemadaman berdasarkan komponen jauh lebih tinggi di bandingkan lama pemadaman yang terjadi di lapangan dan lama pemadaman berdasarkan kondisi di lapangan jauh lebih rendah di banding lama pemadaman berdasarkan komponen.

2. Dalam perhitungan frekuensi pemadaman berdasarkan komponen di peroleh indeks frekuensi pemadaman $f = 0,589$ pemadaman / tahun, sedangkan dalam realisasi di lapangan di peroleh indeks frekuensi pemadaman $f = 0,238$ pemadaman / tahun / pelanggan, Hal ini memperlihatkan bahwa frekuensi pemadaman berdasarkan komponen jauh lebih tinggi di bandingkan frekuensi pemadaman yang terjadi di lapangan dan frekuensi pemadaman berdasarkan kondisi di lapangan jauh lebih rendah di banding frekuensi pemadaman berdasarkan komponen.

3. Berdasarkan perhitungan frekuensi pemadaman berdasarkan dari komponen dengan SAIFI, diperoleh indeks frekuensi pemadamaan $f = 0,589$ pemadaman / tahun / pelanggan, sesuai dengan SPLN 59:1985 tentang keandalan 20 kV dikatakan andal adalah $\leq 1,199$, berdasarkan hasil perhitungan tersebut pada penyulang Kemilau dapat dikatakan andal.

4. Pada perhitungan durasi pemadaman berdasarkan dari komponen dengan SAIDI, diperoleh indeks durasi pemadamaan $d = 0,364$ jam / tahun / pelanggan, sesuai dengan SPLN 59:1985 tentang keandalan 20 kV dikatakan andal adalah $\leq 4,364$, berdasarkan hasil perhitungan tersebut pada penyulang Kemilau dapat dikatakan anda

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basri, Hasan. 1997. Sistem Distribusi Daya Listrik. Jakarta : Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- [2] Suswanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang : Universitas Negri Padang.
- [3] Chumaidy, Adib. 2001. Keandalan Sistem Distribusi. Jurnal Sinusoida Vol 2 No 2, Agustus. Jakarta : Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- [4] Chumaidy, Adib. 2016. Keandalan Listrik pada Penyulang Distribusi. Sainstech Vol 18 No 2, Oktober. Jakarta : Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- [5] Grigsby, L, L. 2000. The Electrical Power Engineering Handbook. USA : CRC Press.
- [6] SPLN 59 : 1985 Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV.
- [7] Kadir, Abdul. 2006. Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik. Universitas Indonesia Jakarta.
- [8] Soekarto, Dkk. 1990. Proteksi Distribusi dan AMR. Bogor : UDIKLAT PLN Cibinong-Bogor.