

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### A. Kajian Teoritis

#### 1. Indeks Sistem Keandalan

Indeks keandalan adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi dan menggambarkan suatu sistem distribusi Listrik. Keandalan distribusi Listrik mengacu pada sistem untuk menyediakan pasokan Listrik yang kontinu dan stabil kepada konsumen tanpa gangguan yang signifikan. Indeks keandalan memberikan informasi tentang lama gangguan Listrik terjadi, serta dampaknya terhadap pelanggan (Dasman & Handayani, 2017). Berikut adalah indeks keandalan yang digunakan dalam distribusi listrik:

a. SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

SAIFI adalah indeks keandalan yang menunjukkan jumlah gangguan (pemadaman) pelanggan secara keseluruhan dalam suatu sistem dalam jangka waktu tertentu, biasanya satu tahun. Secara matematis, indeks SAIFI dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SAIFI = \frac{\sum \beta_i}{\sum N_i}$$

Sumber : (Fanni, 2022)

Dimana :

$\beta_i$  = Angka Kegagalan Rata-Rata / Frekuensi Padam

$N_i$  = Jumlah Pelanggan Yang Terganggu Pada Beban

b. SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

SAIDI adalah indeks keandalan yang menunjukkan jumlah gangguan atau pemadaman pelanggan dalam suatu sistem dalam jangka waktu tertentu, biasanya satu tahun. Indeks ini dapat dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$SAIDI = \frac{\sum v_i \cdot N_i}{\sum N_i}$$

Sumber: (Fanni, 2022)

Dimana :

$U_i$  = Durasi gangguan

$N_i$  = Jumlah pelanggan yang terganggu pada beban

c. Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

CAIDI adalah suatu proses mengukur durasi gangguan rata-rata gangguan per pelanggan yang mengalami gangguan Listrik selama periode tertentu.

$$CAIDI = \frac{SAIFI}{SAIDI}$$

Sumber :(Fanni, 2022)

d. Momentary average interruption frequency index (MAIFI)

MAIFI merupakan mengukur frekuensi gangguan sementara yang dialami oleh pelanggan . Rumus untuk membuat indeks ini adalah sebagai berikut:

$$MAIFI = \frac{\sum \text{Jumlah pemadaman pelanggan}}{\text{Total jumlah pelanggan}}$$

e. Average service availability index (ASAI)

ASAI menunjukkan waktu ketersediaan daya pelanggan selama satu tahun, dan rumusnya adalah sebagai berikut:

$$ASAI = \frac{\sum \text{Jam ketersediaan pelayanan pelanggan}}{\text{Kebutuhan jam pelayanan pelanggan}}$$

## 2. Tingkat Keandalan Sistem Distribusi

Tingkat keandalan distribusi Listrik mengacu pada kemampuan sistem untuk menyediakan pasokan Listrik yang stabil dan kontinu kepada konsumen. Keandalan ini mencakup frekuensi dan durasi gangguan Listrik yang dialami oleh pelanggan serta kemampuan sistem untuk gangguan tersebut. Keandalan sistem distribusi terbagi menjadi tiga kategori:

1. Keandalan Sistem Tinggi
2. Keandalan Sistem Menengah
3. Keandalan Sistem Rendah

## 3. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yaitu sebuah jaringan kompleks yang dirancang untuk menghasilkan, mentransmisikan, dan mendistribusikan Listrik dari pembangkit ke konsumen akhir (Manopo et al., 2020) . Sistem ini mencakup berbagai komponen

yang bekerja bersama-sama untuk memastikan bahwa listrik diproduksi dengan efisien, dan tersedia secara handal. Komponen utama sistem tenaga listrik sebagai berikut :

a. **Pembangkit Listrik (Power Generation )**

Tempat di mana energi listrik dihasilkan. Sumber energi yang digunakan bisa berupa energi fosil (seperti batu bara, minyak, dan gas), energi nuklir, energi air (hidro), energi angin, energi surya, dan lain-lain.

b. **Transmisi**

Proses mengirimkan energi listrik dari pembangkit listrik ke pusat beban (pusat beban) melalui jaringan transmisi tegangan tinggi, yang biasanya terdiri dari menara transmisi dan saluran udara atau kabel bawah tanah.

c. **Distribusi,**

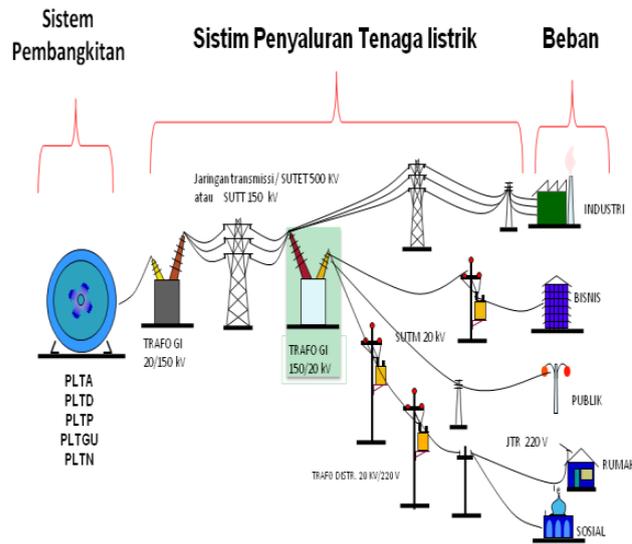
Disebut distribusi, adalah proses mengirimkan energi listrik dari jaringan transmisi ke pengguna akhir. Jaringan distribusi biasanya menggunakan tegangan menengah dan rendah, dan transformator distribusi menurunkan tegangan dari tingkat transmisi ke tingkat yang sesuai untuk penggunaan rumah tangga dan industri.

d. **Pengendalian (Control)**

Sistem pengendalian yang mengatur frekuensi, tegangan, dan aliran daya untuk memastikan sistem tenaga listrik stabil dan andal.

e. **Proteksi**

Perangkat dan sistem yang melindungi jaringan tenaga listrik dari gangguan seperti hubungan pendek (short circuits), arus lebih (overcurrent), dan kegagalan peralatan, untuk mencegah kerusakan dan menjaga kontinuitas pelayanan.



**Gambar 2 1 Sistem Tenaga listrik**

Sumber : Tenaga Listrik Pada Penyulang Cahaya PT . PLN ( Persero )

#### 4. Sistem distribusi

Sistem distribusi listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai untuk menyebarkan energi listrik ke pelanggan. Salah satu adalah jaringan distribusi primer, juga dikenal sebagai Jaringan Tegangan Menengah (JTM). Jaringan Tegangan Menengah biasanya bekerja pada 20 kV, sedangkan Jaringan Tegangan Rendah biasanya bekerja pada 380/220 volt. Pengelompokan ini didasarkan pada perbedaan kebutuhan listrik pelanggan. Dalam praktiknya saat ini, jaringan transmisi—juga dikenal sebagai jaringan tegangan tinggi—disambungkan ke pelanggan dengan daya lebih dari 30 MVA. Di sini, jaringan transmisi dapat berfungsi sebagai jaringan distribusi. Dua tingkat terdiri dari sistem distribusi ini:

1. Dalam sistem distribusi diatur dalam UU Ketenagalistrikan No 30 tahun 2009, sistem distribusi primer, juga dikenal sebagai jaringan tegangan menengah (JTM), digunakan sebagai jaringan utama untuk mengurangi rugi-rugi penyaluran (losses). PT PLN (Persero), sebagai pemegang kuasa harus memenuhi persyaratan tegangan yang diperlukan untuk mengurangi rugi-rugi penyaluran.
2. Sistem jaringan distribusi sekunder, juga dikenal sebagai Jaringan Distribusi Tegangan Rendah (JTR), adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik.

Jaringan tegangan rendah menyalurkan tenaga ke konsumen atau pelanggan tegangan rendah dari Gardu Distribusi. PT. PLN (Persero) menggunakan tegangan rendah 127/220 V dan 220/380 V.

### **5. Gangguan Pada Sistem Distribusi**

Gangguan pada sistem distribusi Listrik adalah peristiwa yang menyebabkan gangguan atau interupsi aliran listrik dari sumber distribusi ke konsumen (Hidayat et al., 2022). Gangguan ini disebabkan oleh berbagai faktor, baik internal maupun eksternal, dan dapat mempengaruhi kinerja, keandalan, dan kualitas layanan listrik. Berikut adalah beberapa jenis gangguan yang umum terjadi pada sistem distribusi:

- a. Hubungan Pendek (Short Circuit): Terjadi ketika ada kontak langsung antara dua konduktor yang berbeda potensial, menyebabkan arus sangat besar mengalir melalui sirkuit. Ini bisa disebabkan oleh kerusakan isolasi, pohon tumbang, atau hewan yang masuk ke saluran listrik.
- b. Arus Lebih (Overcurrent): Terjadi ketika arus yang mengalir melalui sirkuit melebihi kapasitas nominalnya. Penyebabnya bisa berupa beban berlebih atau gangguan lainnya.
- c. Pelepasan Muatan Listrik Atmosfer (Lightning): Sambaran petir bisa menyebabkan lonjakan tegangan tinggi yang merusak peralatan dan memicu gangguan pada sistem distribusi.
- d. Gangguan pada Peralatan: Kegagalan pada komponen seperti transformator, pemutus sirkuit, sekering, atau isolator bisa menyebabkan gangguan pada aliran listrik.
- e. Gangguan Alamiah: Faktor alam seperti angin kencang, badai, gempa bumi, dan banjir dapat merusak infrastruktur distribusi dan menyebabkan gangguan listrik.
- f. Kontaminasi dan Korosi: Polusi, garam, debu, dan bahan kimia dapat menyebabkan korosi dan degradasi pada komponen distribusi, yang akhirnya menyebabkan gangguan.

- g. Gangguan Hewan: Binatang seperti burung, tikus, atau ular yang masuk ke dalam peralatan distribusi dapat menyebabkan hubungan pendek atau gangguan lainnya.

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan listrik terbagi menjadi 4 macam, yaitu:

1. Hubung Singkat Fasa ke Tanah (Single Line to Ground Fault): Ini terjadi ketika salah satu konduktor (fase) secara tidak sengaja terhubung langsung ke tanah. Hal ini bisa disebabkan oleh isolasi yang rusak atau terkikis, atau oleh benda asing yang menyebabkan kontak langsung antara fase dan tanah. Gangguan ini dapat diidentifikasi dengan arus yang tinggi pada satu fase dan tegangan yang rendah pada fase yang terkena.
2. Hubung Singkat Antar Fasa (Line to Line Fault): Terjadi ketika dua konduktor fase yang berbeda terhubung langsung satu sama lain tanpa melalui beban atau peralatan yang dimaksudkan. Hal ini bisa terjadi karena pohon tumbang, benda asing, atau isolasi yang rusak. Gangguan ini dapat menghasilkan arus yang sangat tinggi dan harus segera diatasi untuk menghindari kerusakan lebih lanjut pada peralatan dan jaringan.
3. Hubung Singkat Tiga Fasa (Three Phase Fault): Gangguan ini melibatkan kontak langsung antara semua tiga konduktor fase secara bersamaan. Ini merupakan gangguan yang paling serius dan dapat menyebabkan arus yang sangat tinggi mengalir melalui sistem distribusi. Kejadian seperti ini biasanya disebabkan oleh kondisi eksternal yang signifikan seperti badai petir atau insiden mekanis yang serius.
4. Hubung singkat fasa tengah ke tanah (Double Line to Ground Fault) terjadi ketika dua fasa dari sistem listrik mengalami kontak dengan tanah secara bersamaan. Ini merupakan jenis hubung singkat yang serius karena dapat menyebabkan arus yang tinggi mengalir melalui jaringan listrik.

## 6. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)

SPLN adalah singkatan dari standar perusahaan listrik negara, yang merujuk pada sistem manajemen dan pengendalian distribusi listrik di Indonesia. Pada zaman dahulu, SPLN adalah entitas yang bertanggung jawab untuk pengelolaan, distribusi, dan penyedia listrik di seluruh Indonesia. Dengan berkembangnya waktu dan perubahan organisasi, SPLN berubah menjadi PT PLN (Persero) yang dikenal saat ini. Tabel berikut menunjukkan indeks keandalan sistem distribusi yang meliputi nilai SAIFI, SAIDI, dan CAIDI, menurut standar PLN 68-2 tahun 1986.

Tabel 2. 1 Indeks Keandalan

Sumber : SPLN No.68-2 Tahun 1986

Indeks	(SPLN68-2);1986
SAIFI	3.2 Kali/tahun
SAIDI	21 jam/tahun
CAIDI	6.56 jam/tahun

## 7. Indeks Kegagalan Peralatan Distribusi

Berdasarkan SPLN, data parameter yang digunakan dalam kegagalan peralatan terdapat beberapa parameter diantaranya meliputi tentang laju kegagalan peralatan, Waktu perbaikan, dan Lama pemadaman, sebagaimana dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Indeks Keandalan Peralatan Distribusi

Komponen	(gangguan /Tahun )	r (repair time)/(jam)	Lama pemadaman	Momentary Failure
Trafo	0,005	10	0,15	0.003
Circuit Breaker	0,004	0,25	0,15	0,003
FCO	0,003	0,15	0,15	0,003
Saluran Udara	0,2	3	0,15	0,003

## 8. Metode Reliability Index Assesment (RIA)

Metode RIA berfungsi untuk memperkirakan gangguan pada sistem distribusi dengan menggunakan data tentang kehandalan komponen dan tipe jaringan pada sistem distribusi. Filosofi Metode RIA adalah sistem mode dengan analisis bottomup; mode kegagalan tertentu dari subsistem tertentu diamati berdampak pada sistem secara keseluruhan, menghasilkan indeks keandalan yang signifikan.(Aliffian, 2022)

Syarat-syarat metode RIA adalah sebagai berikut:

- a. Data topologi penyulang
- b. Data jumlah pelanggan dan gangguan
- c. Data keandalan sistem, termasuk tingkat kegagalan momentum, waktu perbaikan, dan waktu pengaturan;
- d. Data panjang saluran penyulang.

Sebelum melakukan analisis keandalan, data harus disiapkan. Untuk metode pengujian indeks keandalan sendiri, komponen yang perlu disiapkan adalah:

- a.  $\lambda_M$  adalah frekuensi kegagalan yang akan hilang sendiri,
- b.  $\lambda_S$  adalah frekuensi kegagalan yang membutuhkan personel untuk memperbaikinya.
- c. Lama waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki komponen sistem kegagalan untuk membuatnya berfungsi kembali normal disebut MTTR (Mean Time To Repair).
- d. Jumlah pelanggan yang terdaftar di setiap penyulang Data Gangguan atau Pemadaman

Pada metode RIA terdapat nilai indeks yang di hitung, meliputi laju kegagalan. Berikut persamaan menghitung laju kegagalan menggunakan metode RIA (Reliability Index Assesment).

$$\lambda_i = (\lambda_S + \text{Momentary}) \times \text{Panjang Saluran}$$

Dimana,

$\lambda_i$  = Laju kegagalan pada titik tertentu (frekuensi/tahun)

$\lambda_S$  = Sustained failure rate ini adalah frekuensi dari fault yang membutuhkan kru untuk memperbaikinya.

$\lambda M$  = Momentary failure rate; ini adalah frekuensi dari fault yang akan hilang dengan sendirinya.

Panjang Saluran = Panjang Saluran antar trafo (km)

$$\mu I = (\lambda I \times r)$$

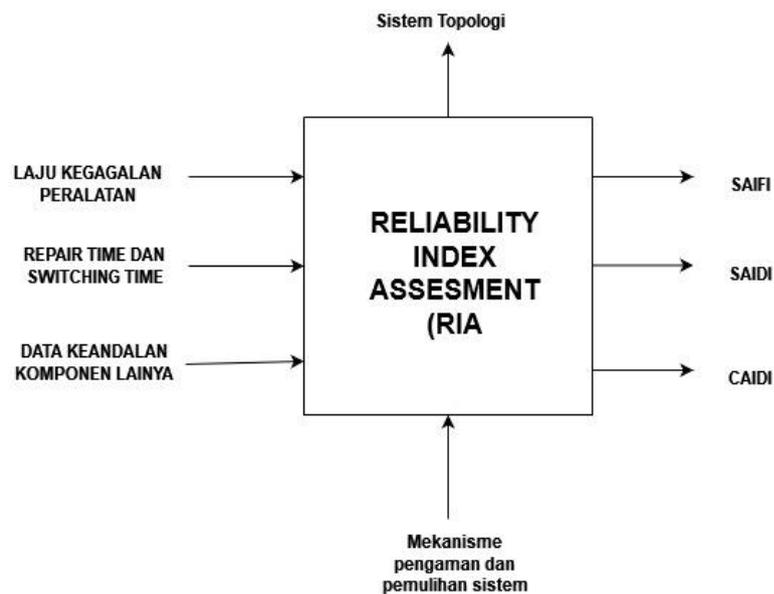
Keterangan,

$\mu i$  = Durasi Kegagalan (jam/tahun)

$\lambda I$  = Laju kegagalan pada titik tertentu (frekuensi/tahun)

$R$  = Repair Time (Jam)

Persamaan tersebut dapat di input kedalam rumus SAIDI dan SAIFI.



**Gambar 2 2 Metode RIA**

## B. Kajian Empiris

Tabel 2. 3 Kajian Empiris

No	Nama peneliti dan judul penelitian	Variabel dan metode analisis	Hasil penelitian
1.	Maliky, Alen Tri Haryudo, dan Isnur Subuh. Penelitian ini bertujuan untuk	Parameter penelitian ini adalah analisis keandalan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem distribusi 20 kV memiliki keandalan yang cukup baik,

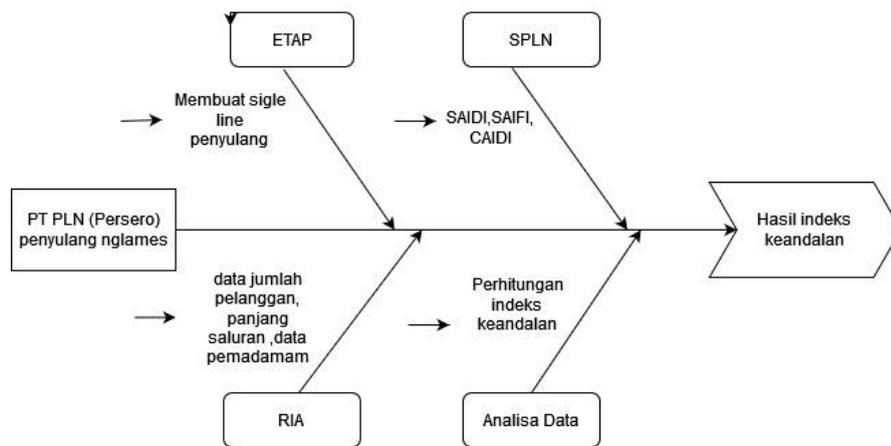
	menganalisa keandalan sistem distribusi 20 KV pada penyulang pejangkungan di PT PLN Pasuruan dengan menggunakan metode Ria.	distribusi 20 kv pada penyulang pejangkungan PT PLN Pasuruan.  Penelitian ini menerapkan teknik kuantitatif.	tetapi masih ada ruang untuk meningkatkannya.
2.	Penelitian di Departemen Teknik Elektro berjudul Studi Keandalan dan Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20kv Pada Ulp. Karang Kota Bandar Lampung Dengan Menggunakan Metode Penilaian Keandalan Index	Untuk meningkatkan keandalan distribusi, variabel penelitian ini adalah studi konfigurasi.  Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif.	Hasil penelitian ini di Karang, Bandar Lampung menunjukkan bahwa sistem distribusi 20 kV pada berbagai penyulang menunjukkan bahwa nilai SAIDI dan SAIDI dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti panjang saluran daur ulang, tetapi penurunan nilai SAIDI dan SAIDI setelah rekonfigurasi pada ULP, yang menunjukkan bahwa metode penilaian indeks keandalan dan rekonfigurasi sistem distribusi dapat meningkatkan keandalan sistem kelistrikan.
3.	Marsa risky, Agus Prasetyo, Harlan Efendi. Judul Penelitian	Keandalan distribusi 20 kv adalah variabel	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem distribusi 20 kV pada

	:Analisa keandalan pada sistem distribusi 20 KV	penelitian ini.  Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif.	berbagai penyulang menunjukkan bahwa nilai SAIFI dan SAIDI dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Panjang saluran dan jumlah trafo adalah beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai SAIFI dan SAIDI. Nilai SAIFI dan SAIDI cenderung meningkat seiring dengan panjang saluran dan jumlah trafo.
4.	Rofiq, Muhammad Ainur Tasmono, Hadi Widagdo, Reza Sarwo. Judul penelitian : Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Metode Reliability Index Assessment (RIA) Pada Penyulang PT. PLN ULP Giri	Analisis keandalan distribusi 20 kv di ulp giri adalah variabel penelitian ini.  Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode RIA dapat digunakan untuk mengkaji dan mengevaluasi keandalan sistem distribusi 20 kV pada penyulang PT. PLN ULP Giri serta untuk menentukan langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan keandalan sistem.
5.	Penelitian oleh Agarwal, Umesh Jain, dan Naveen berjudul Evaluasi Reliabilitas Jaringan Distribusi untuk Tujuan	Variabel penelitian ini adalah mengevaluasi keandalan jaringan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa makalah ini menawarkan pendekatan inovatif yang berfokus pada restrukturisasi jaringan untuk meningkatkan keandalan

	Pendidikan: Pendekatan Analitis untuk Analisis Hasil.	distribusi untuk tujuan pendidikan  Metode penelitian ini menggunakan metode kuantitatif	jaringan. Indeks keandalan yang bernilai biaya diberikan dalam penelitian ini, dan diikuti dengan model matematis yang terkait dengan fungsi tujuan untuk mengurangi indeks keandalan yang terkenal, seperti Expected Interruption Cost (ECOST) dan Energy Not Served (ENS).
--	---	--	--

### C. Kerangka Berpikir

Kerangka berfikir diatas menerapkan langkah langkah sebagai berikut :



**Gambar 2 3 Kerangka Berpikir**

Deskripsi :

Berdasarkan kerangka berpikir ini, penelitian ini akan berfokus pada analisis indeks keandalan distribusi 20 KV PT PLN (Persero) pada penyulang Nglames dengan menggunakan metode RIA. Data seperti jumlah pelanggan, panjang saluran

penyulang, titik beban, dan parameter data keandalan sistem dikumpulkan di PT.PLN (Persero) ULP Madiun Kota. Dari data hasil observasi, ETAP digunakan untuk mengolah data. Data diproses dalam satu tahun, yaitu tahun 2022. Setelah diproses untuk analisis, data PLN dibandingkan dengan data SAIFI, SAIDI, dan CAIDI. Kemudian, frekuensi padam dan durasi padam dihitung menggunakan rumus perhitungan RIA. Indeks keandalan sistem distribusi 20 kv dihitung berdasarkan hasil penelitian ini.

#### **D. Hipotesis**

Hipotesis berikut dibuat berdasarkan kerangka berpikir di atas:

1. a).  $H_0$  = indeks keandalan distribusi di PT.PLN (Persero) Penyulang Nglames dengan metode RIA tidak dapat dilakukan  
b).  $H_1$  = indeks keandalan distribusi di PT. PLN (Persero) Penyulang Nglames dengan metode RIA dapat dilakukan
2. a).  $H_0$  = hasil perhitungan nilai keandalan distribusi di PT.PLN (Persero) Penyulang Nglames tergolong tidak handal .  
b).  $H_1$  = hasil perhitungan nilai keandalan distribusi di PT.PLN (Persero) Penyulang Nglames tergolong handal .