

## EVALUASI KEANDALAN PENYULANG DENGAN METODE RELIABILITY NETWORK EQUIVALENT APPROACH

I Wayan Sukerayasa\*, Musthopa\*\*

\*Staff Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

\*\* Alumni Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361

E-mail : sukerayasa@ee.unud.ac.id

### Abstrak

Kualitas keandalan pelayanan energi listrik dapat dilihat dari lamanya pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam kurun waktu tertentu. Indeks keandalan merupakan ukuran keandalan yang dinyatakan dalam besaran probabilitas. Konfigurasi penyulang radial biasanya lebih kompleks dan panjang bila dibandingkan dengan konfigurasi spindel. Evaluasi keandalan penyulang radial memerlukan perhitungan indeks keandalan yang cukup rumit dan sangat banyak.

Metode *Reliability-Network-Equivalent Approach* (RNEA) digunakan untuk menganalisis keandalan sistem distribusi yang besar dan kompleks, dengan pendekatan elemen ekuivalen. Rangkaian ekuivalen digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi kedalam bentuk seri dan sederhana. Metode RNEA menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*load point*).

Sebagai sampel dalam penelitian ini diambil Penyulang Penebel, yang merupakan penyulang radial, panjang dan kompleks. Dari studi keandalan ini didapatkan indeks titik beban (*load point*) dan indeks sistem, yang berguna untuk perencanaan sistem di masa yang akan datang. Untuk mencari nilai indeks titik beban (*load point*), SAIFI dan SAIDI, telah dibangun program dengan memakai pendekatan metode RNEA. Hasil studi menunjukkan, nilai SAIFI Penyulang Penebel adalah sebesar 1,7594 (Pemadaman/Pelanggan.Tahun), dan untuk nilai SAIDI adalah sebesar 4,248 (Jam/Pelanggan.Tahun).

**Kata Kunci** : Keandalan, Sistem distribusi, *Reliability-Network-Equivalent Approach*

### 1. PENDAHULUAN

Keandalan sistem distribusi adalah peluang suatu komponen atau sistem distribusi dalam memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam periode tertentu. Peningkatan kebutuhan tenaga listrik menuntut sistem distribusi tenaga listrik yang mempunyai tingkat keandalan yang baik. Pada sistem distribusi, kualitas keandalan dapat dilihat dari lamanya pemadaman dan seberapa sering pemadaman terjadi dalam satu satuan waktu, misalkan dalam satu tahun. Dengan tingkat keandalan yang sesuai dengan standar, masyarakat pengguna dapat menikmati energi listrik secara kontinyu. Untuk menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk ke pusat-pusat beban diperlukan sistem distribusi. Sebuah sistem distribusi tentunya mempunyai nilai keandalan tertentu, yang tergantung dari keandalan sistem distribusi, yang diperoleh dengan menghitung tingkat indeks keandalannya. Indeks keandalan merupakan ukuran keandalan dari sistem distribusi yang dinyatakan dalam besaran probabilitas.

Salah satu Penyulang di Gardu Induk Kapal adalah Penyulang Penebel. Penyulang ini masuk dalam kawasan Area Jaringan Bali Selatan (AJ Batan) PT. PLN (Persero) Distribusi Bali. Penyulang Penebel bertipe radial dan konfigurasi jaringan yang

kompleks. Dari pemetaan yang telah dilakukan, terdapat 20 *lateral* dan jumlah Gardu Distribusi sebanyak 89 unit, dengan jumlah pelanggan sebanyak 14989 pelanggan, dan panjang Penyulang 131,792 km. PT. PLN mempunyai target untuk mencapai pelayanan pelanggan kelas dunia, yang selanjutnya disebut WCS (*World Class Service*). Salah satu indikator WCS adalah memenuhi standar SAIFI sebesar 3 (Pemadaman/Pelanggan.Tahun) dan SAIDI sebesar 100 (Menit/Pelanggan. Tahun). Dalam penelitian ini dihitung indeks keandalan Penyulang Penebel.

Teknik analisis yang digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi telah berkembang dengan pesat. Salah satu metode konvensional untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi umumnya berdasarkan analisis pengaruh kegagalan (*Failure-Mode-and-Effect-Analysys*) yang selanjutnya disingkat metode FMEA. Pada metode FMEA, kemungkinan terjadinya kegagalan atau tidak berfungsinya tiap komponen pada sistem distribusi diidentifikasi dan dianalisis untuk mengetahui pengaruhnya terhadap titik beban (*load point*). Pada akhirnya kejadian kegagalan dibentuk untuk mengevaluasi indeks titik beban. Metode FMEA menggunakan perhitungan yang sangat banyak, sehingga membutuhkan waktu perhitungan yang

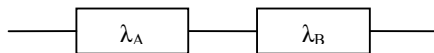
lama. Oleh karena itu diperlukan suatu metode yang lebih sederhana dan yang lebih cepat untuk menghitung indeks keandalan titik beban dan indeks keandalan sistem.

R. Billinton dan P. Wang memperkenalkan metode pendekatan ekuivalen keandalan jaringan (*Reliability-Network-Equivalent Approach*) pada tahun 1998. Metode pendekatan ekuivalen keandalan jaringan digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang besar dan kompleks secara sederhana. Prinsip utama metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar kedalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*individual load point*). Metode pendekatan ekuivalen keandalan jaringan ini merupakan penyederhanaan dari metode FMEA, dan merupakan solusi dari masalah yang dihadapi metode FMEA. [2]

## 2. INDEKS KEANDALAN

Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam suatu besaran probabilitas. Sejumlah indeks sudah dikembangkan untuk menyediakan suatu kerangka untuk mengevaluasi keandalan sistem tenaga. Evaluasi keandalan sistem distribusi terdiri dari indeks titik beban dan indeks sistem. Indeks kegagalan titik beban yang biasanya digunakan meliputi tingkat kegagalan  $\lambda$  (Kegagalan/Tahun), rata-rata waktu keluar (*outage*)  $r$  (Jam/Kegagalan) dan rata-rata ketaktersediaan tahunan  $U$  (Jam/Tahun). [1]

Pada sistem distribusi tipe radial umumnya menggunakan kombinasi seri. Misalkan sebuah Penyulang tersusun secara seri antara *Circuit Breaker*, *Disconnecting Switch*, Saluran, *Fuse*, dan Gardu Distribusi. Secara sederhana susunan seri antar komponen dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem Seri

Sistem yang ditunjukkan pada gambar 1 adalah sebuah sistem yang terdiri dari komponen A dan komponen B. Dua komponen tersebut terhubung secara seri. Jika  $\lambda_A$  adalah laju kegagalan komponen A dan  $\lambda_B$  laju kegagalan komponen B. [1], maka :

$$\lambda_{SYS} = \lambda_A + \lambda_B \quad (1)$$

$$r_{SYS} = \frac{\lambda_A r_A + \lambda_B r_B}{\lambda_A + \lambda_B} \quad (2)$$

$$U_{SYS} = \lambda_{SYS} r_{SYS} \quad (3)$$

Untuk n komponen maka persamaan menjadi:

$$\lambda_{SYS} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4)$$

$$r_{SYS} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i r_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (5)$$

$$U_{SYS} = \lambda_{SYS} r_{SYS} \quad (6)$$

Keterangan:

$\lambda_A$  : Laju kegagalan komponen A (*fault/year*)

$\lambda_B$  : Laju kegagalan komponen B (*fault/year*)

$r_A$  : Waktu keluar (*Outage time*) komponen A (*hours/fault*)

$r_B$  : Waktu keluar (*Outage time*) komponen B (*hours/fault*)

$\lambda_{SYS}$  : Laju kegagalan sistem (*fault/year*)

$r_{SYS}$  : Rata-rata waktu keluar (*outage time*) sistem (*hours/fault*)

$U_{SYS}$  : Rata-rata ketaktersediaan (*Unavailability*) sistem (*hours/year*)

Dalam penelitian ini, indeks sistem yang dicari adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

Berikut ini adalah formula matematis-nya :

### a. SAIFI

Indeks ini didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi per pelanggan yang dilayani oleh sistem per satuan waktu (umumnya per tahun). [1]

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_k M_k}{\sum M_k} \quad (7)$$

### b. SAIDI

Indeks ini didefinisikan sebagai nilai rata-rata dari lamanya kegagalan untuk setiap konsumen selama satu tahun. [1]

$$SAIDI = \frac{\sum U_k M_k}{\sum M_k} \quad (8)$$

Kegunaan dari informasi indeks keandalan sistem adalah sangat luas, kegunaan-kegunaan yang paling umum meliputi:

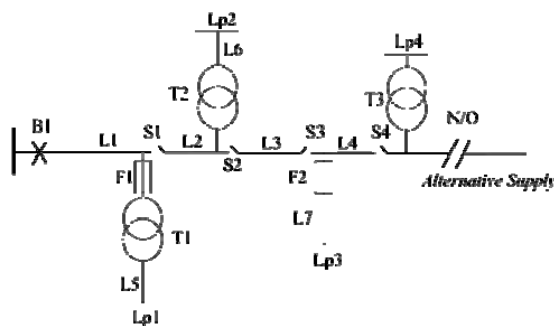
1. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan pada sistem listrik secara keseluruhan.
2. Untuk mengidentifikasi subsistem dan sirkit dengan capaian di bawah standar dan untuk memastikan penyebabnya.

3. Melengkapi manajemen dengan data capaian mengenai mutu layanan pelanggan untuk masing-masing area operasi.
4. Menyediakan sejarah keandalan dari sirkit individu untuk diskusi dengan pelanggan sekarang atau calon pelanggan.
5. Memenuhi syarat pelaporan pengaturan.
6. Menyediakan suatu basis untuk menetapkan ukuran-ukuran kesinambungan layanan.
7. Menyediakan data capaian yang penting bagi suatu pendekatan probabilistik untuk studi keandalan sistem distribusi.[3]

**3. METODE RELIABILITY-NETWORK-EQUIVALENT**

Metode *Reliability-Network-Equivalent Approach* (RNEA) merupakan penyederhanaan dari metode *Failure-Mode-and-Effect Analysis* (FMEA). Metode RNEA digunakan untuk menganalisis sistem distribusi radial yang kompleks secara sederhana. Prinsip utama pada metode ini adalah elemen ekuivalen dapat digunakan untuk mengganti bagian jaringan distribusi dan menyusun kembali sistem distribusi yang besar kedalam bentuk seri dan sederhana. Metode ini merupakan metode pendekatan untuk mengevaluasi sistem distribusi yang menggunakan proses berulang dan berurutan untuk mengevaluasi indeks keandalan per titik beban (*load point*).

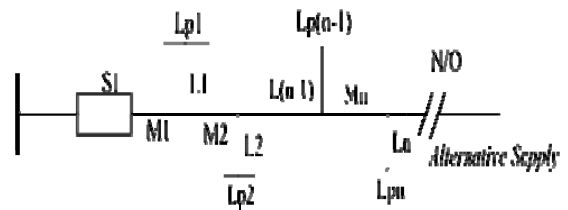
Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa sistem distribusi radial yang terdiri dari Transformator, Saluran, *Breaker*, *Fuse*, dan *Disconnecting Switch*.  $S_1$ ,  $L_1$  disebut sebagai seksi utama (*main section*) yang menyalurkan energi ke lokasi beban. Beban (*load point*) pada kondisi normal terhubung langsung dengan Transformator. *Fuse F1* dan saluran cabang  $T_1$  dan  $L_5$  disebut sebagai seksi cabang (*lateral section*).



- Keterangan:  
 B : Breaker  
 T : Transformator  
 L : Line  
 S : Disconnecting Switch  
 F : Fuse

Gambar 2. Sistem Distribusi

Sistem distribusi yang terlihat pada gambar 2 dapat dimodelkan dengan Penyulang umum, seperti yang terlihat pada gambar 2. Penyulang umum terdiri dari  $n$  seksi utama (*main section*),  $n$  seksi cabang (*lateral section*) dan komponen seri. Secara berurutan  $S_i$ ,  $L_i$ ,  $M_i$  dan  $L_{pi}$  menggambarkan komponen seri  $i$ ,  $L_i$  dapat disebut sebagai saluran dengan *Fuse* atau saluran dengan *Fuse* dan Transformator pada seksi cabang  $i$ ,  $M_i$  dapat disebut sebagai saluran dengan *Disconnecting Switch* atau saluran dengan dua *Disconnecting Switch* di kedua ujungnya pada seksi utama  $i$ , dan  $L_{pi}$  adalah *load point*  $i$ .



- Keterangan :  
 S : Komponen Seri  
 M : Saluran dengan *Disconnecting Switch*  
 L : Saluran dengan *Fuse* dan Transformator  
 $L_p$  : *Load point*

Gambar 3. Penyulang Umum

Berdasarkan data elemen dan konfigurasi pada Penyulang umum, didapatkan formula untuk menghitung tiga indeks titik beban (*load point indexes*) Sesuai dengan persamaan :

$$\lambda_j = \lambda_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} \tag{9}$$

$$U_j = \lambda_{sj} r_{sj} + \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} r_{ij} + \sum_{k=1}^n P_{kj} \lambda_{kj} r_{kj} \tag{10}$$

$$r_j = \frac{U_j}{\lambda_j} \tag{11}$$

- Keterangan:  
 $\lambda_j$  : laju kegagalan pada titik beban  $j$   
 $U_j$  : rata-rata ketaktersediaan tahunan pada titik beban  $j$   
 $r_j$  : rata-rata lama padam pada titik beban  $j$   
 $\lambda_{sj}$  : laju kegagalan komponen seri terhadap titik beban  $j$   
 $\lambda_{ij}$  : laju kegagalan seksi utama  $i$  terhadap titik beban  $j$   
 $\lambda_{kj}$  : laju kegagalan seksi cabang  $k$  terhadap titik beban  $j$   
 $P_{kj}$  : parameter kontrol seksi cabang  $k$  terhadap titik beban  $j$

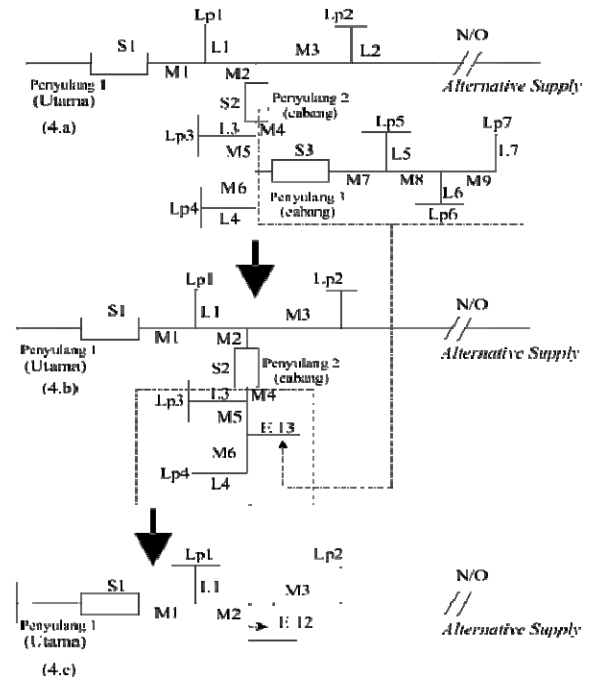
- $r_{ij}$  : waktu *switching* (*switching time*) atau waktu perbaikan (*repair time*) titik beban  $j$  pada *main section*  $i$
- $r_{sj}$  : waktu perbaikan (*repair time*) untuk elemen seri  $s$  terhadap titik beban  $j$
- $r_{kj}$  : waktu *switching* (*switching time*) atau waktu perbaikan (*repair time*) titik beban  $j$  pada *lateral section*  $k$

$P_{kj}$  adalah parameter kontrol dari seksi cabang  $k$  yang tergantung pada model operasi *Fuse*.  $P_{kj}$  bernilai 1 jika tidak ada *Fuse* atau 0 jika keandalan *Fuse* 100 persen, dan bernilai antara 0 dan 1 untuk *Fuse* yang mempunyai probabilitas operasi ketidaksuksesan tertentu. Parameter  $\lambda_{ij}$ ,  $\lambda_{kj}$ , dan  $\lambda_{sj}$  adalah laju kegagalan dari seksi utama  $i$ , seksi cabang  $k$  dan elemen seri  $s$ .  $r_{ij}$ ,  $r_{sj}$ , dan  $r_{kj}$  adalah durasi pemadaman (waktu *switching* atau waktu perbaikan).

Sistem distribusi biasanya mempunyai konfigurasi yang kompleks, dimana terdiri dari Penyulang utama dan Penyulang cabang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Penyulang utama merupakan konfigurasi yang terdiri dari satu pemisah, dua pemisah atau tidak mempunyai pemisah pada seksi utama (*main section*) dan model operasi *Fuse* yang berbeda pada seksi cabang (*lateral section*). Penyulang cabang adalah Penyulang yang terhubung dengan Penyulang utama seperti terlihat pada gambar 4. Penyulang cabang 2 dan Penyulang cabang 3 disebut sebagai Penyulang cabang. Persamaan (9-11) tidak bisa digunakan secara langsung untuk mengevaluasi indeks keandalan pada sistem ini. Metode pendekatan ekuivalen keandalan jaringan memberikan teknik praktis untuk mengatasi masalah ini. Konsep dasar pada metode pendekatan ini dapat diilustrasikan pada gambar 4, konfigurasi asli diilustrasikan oleh gambar 4.a, kemudian Penyulang cabang 3 dan Penyulang cabang 2 direduksi, sehingga menghasilkan jaringan ekuivalen seperti terlihat pada gambar 4.b. dan gambar 4.c.

Kegagalan elemen pada Penyulang cabang 3 akan mempengaruhi titik beban (*load point*) pada Penyulang cabang 3, Penyulang 1 dan Penyulang cabang 2. Pengaruh Penyulang cabang 3 terhadap Penyulang 1 dan 2 adalah sama dengan pengaruh seksi cabang pada Penyulang cabang 2. Penyulang cabang 3 dapat diganti dengan ekuivalen seksi cabang (E1 3). Ekuivalen seksi cabang harus memasukkan pengaruh kegagalan terhadap semua komponen pada Penyulang cabang 3. Ekuivalen seksi cabang (E1 2) Penyulang cabang 2 dapat dikembangkan seperti terlihat pada gambar 4.c.

Parameter ekuivalen seksi cabang akan tergantung dari lokasi pemisah (*Disconnecting Switch*).



Gambar 4. Jaringan Ekuivalen Keandalan

Parameter keandalan ekuivalen seksi cabang dapat dibagi kedalam dua bagian dengan menggunakan persamaan matematis sebagai berikut

$$\lambda_{e1} = \sum_{i=1}^m \lambda_i \tag{12}$$

$$U_{e1} = \sum_{i=1}^m \lambda_i r_i \tag{13}$$

$$r_{e1} = \frac{U_{e1}}{\lambda_{e1}} \tag{14}$$

$$\lambda_{e2} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \tag{15}$$

$$U_{e2} = \sum_{i=1}^n \lambda_i r_i \tag{16}$$

$$r_{e2} = \frac{U_{e2}}{\lambda_{e2}} \tag{17}$$

Keterangan :

- $\lambda_{e1}$  : laju kegagalan ekuivalen komponen seri yang tidak diisolasi pemisah
- $\lambda_i$  : laju kegagalan komponen  $i$
- $\lambda_{e2}$  : laju kegagalan ekuivalen komponen seri yang diisolasi pemisah
- $r_{e1}$  : total waktu perbaikan (*repair time*)
- $r_i$  : waktu perbaikan komponen  $i$
- $U_{e1}$  : total ketaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri yang tidak diisolasi pemisah

$U_{e2}$  : total ketaktersediaan tahunan ekuivalen komponen seri yang diisolasi pemisah

Dengan menggunakan jaringan ekuivalen, sistem dapat direduksi ke dalam bentuk sistem distribusi umum seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.c. sehingga hanya Penyulang 1 saja yang ada. Untuk kondisi tersebut persamaan dasar (9-11) dapat digunakan untuk mengevaluasi indeks titik beban (*load point*) Penyulang 1. Disatu sisi, kegagalan komponen pada pada Penyulang 1 juga berpengaruh terhadap titik beban (*load point*) pada Penyulang 2 dan Penyulang 3. Pengaruh tersebut, ekuivalen terhadap komponen seri  $S_2$  pada Penyulang 2. Penyulang 2 menjadi sistem distribusi umum setelah ekuivalen komponen seri  $S_2$  dihitung. Indeks titik beban (*load point*) pada Penyulang 2 dan parameter ekuivalen komponen seri  $S_3$  kemudian dihitung dengan cara yang sama seperti pada Penyulang 1. Pada akhirnya indeks titik beban (*load point*) Penyulang 3 dapat dievaluasi. Parameter keandalan dari ekuivalen kompoonen seri dapat dihitung menggunakan metode yang dipakai untuk menghitung indeks titik beban (*load point*).

Proses yang digunakan untuk mengevaluasi indeks keandalan sistem distribusi yang menggunakan RNEA terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Proses *bottom-up*, digunakan untuk mencari semua Penyulang cabang (*sub Feeder*) kemudian diganti dengan jaringan ekuivalen seksi cabang (*lateral section*) sehingga sistem dapat direduksi menjadi sistem distribusi umum.
2. Prosedur *top-down*, proses ini digunakan untuk mengevaluasi indeks titik beban (*load point*) tiap Penyulang (*Feeder*) dan ekuivalen komponen seri untuk Penyulang cabang (*sub Feeder*), sampai semua indeks titik beban (*load point*) baik pada Penyulang utama (*Feeder*) maupun Penyulang cabang (*sub Feeder*) dievaluasi.
3. Setelah masing-masing indeks titik beban (*load point*) dihitung, kemudian menghitung indeks Penyulang dan sistem.[2]

#### 4. MODEL YANG DIANALISIS

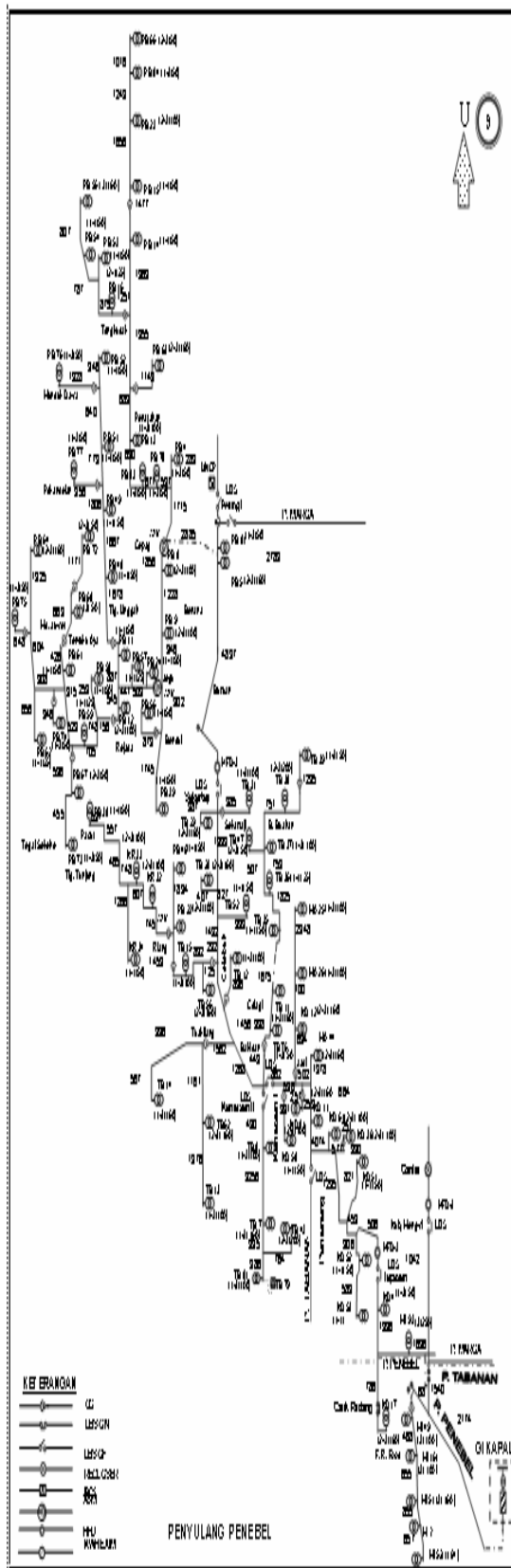
Data Standar PLN yang digunakan dalam penelitian ini adalah Standar PLN 59 : "Keandalan pada Sistem Distribusi 20 kv dan 6 kV", yaitu: [7]

- $\lambda$  SUTM = 0.02466 Kggln./Tahun. km
- $\lambda$  SKBT = 0.07 Kggln./Tahun. km
- $\lambda$  trafo = 0.005 Kggln./tahun
- *Repair Time* SUTM = 3 jam
- *Repair time* SKBT = 10 jam
- *Switching Time* = 0.003 Jam
- Waktu Penggantian Trafo = 10 jam

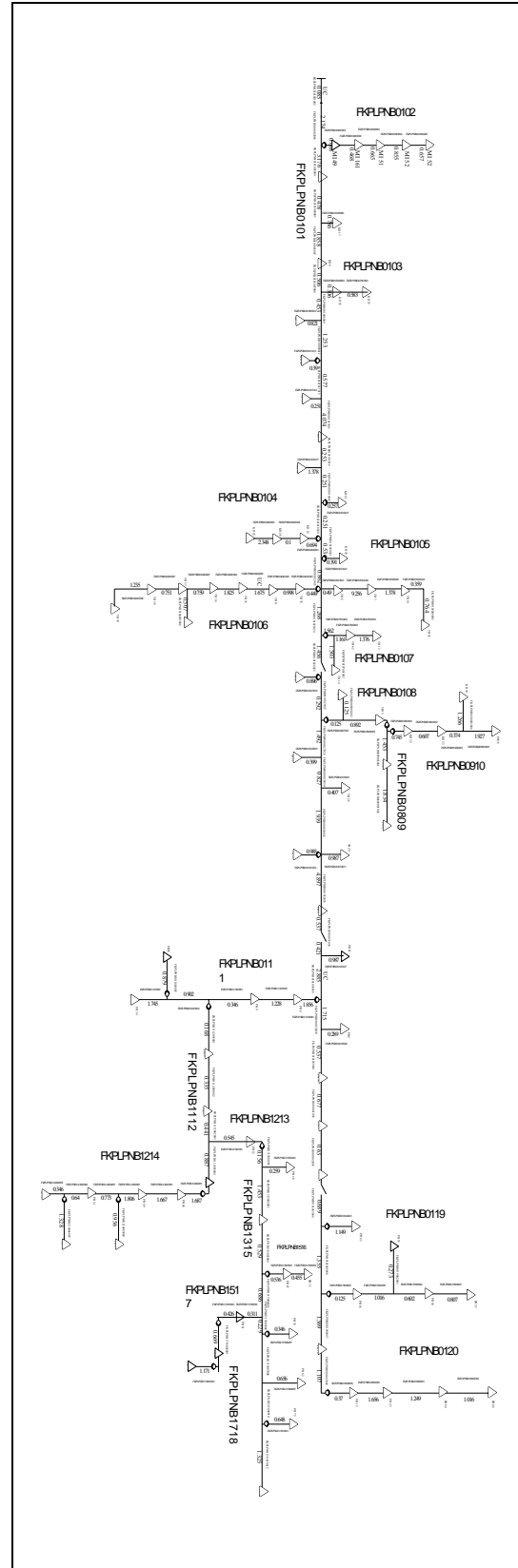
Data jumlah pelanggan dan kapasitas masing-masing *load point* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Pelanggan Penyulang Penebel

<b>Load Point</b>	<b>Kapasitas (kVA)</b>	<b>Jumlah Pelanggan</b>
PB4	50	121
PB78	50	13
PB83	160	55
PB13	100	424
PB63	160	67
PB14	50	168
PB59	25	96
PB74	50	11
PB62	25	13
PB75	50	23
PB64	160	74
PB67	50	104
PB73	50	33
PB61	50	83
PB68	50	56
PB72	50	77
PB16	100	196
PB53	50	30
PB54	50	137
PB55	160	123
PB15	50	206
PB23	100	586
PB84	100	55
PB66	50	10
MI93	250	2
KD17	100	1
KD4	100	341
KD51	50	177
KD36	100	295
KD61	100	164
KD11	160	223
MA44	160	223
KD81	100	61
KD58	50	199
TB12	100	308
TB52	50	49



Gambar 5. Penyulang Penebel



Gambar 6. Pemodelan Penyulang Penebel

(Lanjutan) Tabel 1. Jumlah Pelanggan Penyulang Penebel

<i>Load Point</i>	<i>Kapasitas (kVA)</i>	<i>Jumlah Pelanggan</i>
MI49	100	222
MI161	100	222
MI51	160	355
MI195	100	222
MI52	64	222
KD52	50	127
KD53	100	176
KD12	160	236
MA26	100	206
MA25	100	139
TB8	100	328
TB7	160	507
TB81	100	111
TB43	200	204
TB76	160	22
TB11	160	217
TB35	100	331
TB36	50	226
TB37	100	181
TB47	50	1
TB38	200	360
TB39	100	272
TB14	160	330
TB62	160	55
TB13	100	412
TB56	160	59
TB15	100	86
PB22	100	313
PB46	50	225
KR32	100	272
KR33	100	164
KR34	50	123
PB38	50	45
PB8	100	313
PB9	100	320
PB56	50	44
PB39	50	176
PB24	50	71
PB57	25	49
PB11	50	211
PB12	100	257
PB48	50	89
PB49	50	90
PB77	50	55
PB51	50	40
PB76	50	32
PB52	50	77
PB58	100	60

<i>Load Point</i>	<i>Kapasitas (kVA)</i>	<i>Jumlah Pelanggan</i>
TB28	160	399
TB29	160	414
TB31	100	102
PB5	160	448
PB81	50	8

Parameter utama yang digunakan adalah panjang saluran per segmennya. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 2. Data pada tabel tersebut adalah sudah dalam bentuk pemodelan program.

Tabel 2. Panjang Saluran (*Line*) per segmen

<i>Line</i>	<i>Panjang (km)</i>
FKPLPNB0101001002	0.085
FKPLPNB0101002003	2.174
FKPLPNB0101003004	3.176
FKPLPNB0101004005	1.962
FKPLPNB0101005006	0.786
FKPLPNB0101005007	1.336
FKPLPNB0101007008	0.506
FKPLPNB0101008009	0.453
FKPLPNB0101009010	0.821
FKPLPNB0101009011	1.253
FKPLPNB0101011012	0.39
FKPLPNB0101011013	0.577
FKPLPNB0101013014	0.251
FKPLPNB0101013015	4.074
FKPLPNB0101015016	0.253
FKPLPNB0101016017	1.378
FKPLPNB0101016018	0.251
FKPLPNB0101018019	0.257
FKPLPNB0101018020	0.251
FKPLPNB0101020021	0.53
FKPLPNB0101021022	0.391
FKPLPNB0101021023	0.862
FKPLPNB0101023024	1.268
FKPLPNB0101024025	1.456
FKPLPNB0101025026	0.896
FKPLPNB0101025027	0.292
FKPLPNB0101027028	1.492
FKPLPNB0101028029	0.399
FKPLPNB0101028030	0.827
FKPLPNB0101030031	0.407
FKPLPNB0101030032	1.939
FKPLPNB0101032034	0.985
FKPLPNB0101032035	4.897

(Lanjutan) Tabel 2. Panjang Saluran (*Line*) per segmen

<i>Line</i>	Panjang (km)
FKPLPNB0101035036	0.958
FKPLPNB0101036037	0.987
FKPLPNB0101036038	2.885
FKPLPNB0101038039	1.715
FKPLPNB0101039040	0.289
FKPLPNB0101039041	0.537
FKPLPNB0101032033	0.987
FKPLPNB0101041042	0.677
FKPLPNB0101042043	0.63
FKPLPNB0101043044	0.689
FKPLPNB0101044045	1.149
FKPLPNB0101044046	1.355
FKPLPNB0101046047	1.369
FKPLPNB0101047048	1.107
FKPLPNB0102003001	0.064
FKPLPNB0102001002	0.468
FKPLPNB0102002003	0.665
FKPLPNB0102003004	0.855
FKPLPNB0102004005	0.657
FKPLPNB0103008001	0.306
FKPLPNB0103001002	0.583
FKPLPNB0104020001	0.694
FKPLPNB0104001002	0.1
FKPLPNB0104002003	2.348
FKPLPNB0105023001	0.49
FKPLPNB0105001002	9.256
FKPLPNB0105002003	1.378
FKPLPNB0105003004	0.359
FKPLPNB0105004005	0.764
FKPLPNB0106023001	0.449
FKPLPNB0106001002	0.998
FKPLPNB0106002003	1.675
FKPLPNB0106003004	1.825
FKPLPNB0106004005	0.759
FKPLPNB0106005006	0.507
FKPLPNB0106005007	0.751
FKPLPNB0106007008	1.235
FKPLPNB0107024001	1.562
FKPLPNB0107001002	1.503
FKPLPNB0107001003	1.161
FKPLPNB0107003004	1.376
FKPLPNB0108027001	0.125
FKPLPNB0108001002	0.125
FKPLPNB0108001003	0.892
FKPLPNB0809003001	0.431
FKPLPNB0809001002	1.453

(Lanjutan) Tabel 2. Panjang Saluran (*Line*) per segmen

<i>Line</i>	Panjang (km)
FKPLPNB0809002003	1.834
FKPLPNB0910001001	0.745
FKPLPNB0910001002	0.607
FKPLPNB0910002003	0.374
FKPLPNB0910003004	1.266
FKPLPNB0910003005	1.927
FKPLPNB0111038001	1.856
FKPLPNB0111001002	1.228
FKPLPNB0111002003	0.346
FKPLPNB0111003004	0.902
FKPLPNB0111004005	0.879
FKPLPNB0111004006	1.745
FKPLPNB1112003001	0.168
FKPLPNB1112001002	0.335
FKPLPNB1112002003	0.441
FKPLPNB1112003004	0.887
FKPLPNB1213003001	0.545
FKPLPNB1214004001	1.687
FKPLPNB1214001002	1.667
FKPLPNB1214002003	1.806
FKPLPNB1214003004	0.956
FKPLPNB1214003005	0.773
FKPLPNB1214005006	0.64
FKPLPNB1214006007	1.328
FKPLPNB1214006008	0.346
FKPLPNB1315001001	0.156
FKPLPNB1315001002	0.259
FKPLPNB1315001003	1.453
FKPLPNB1315003004	0.529
FKPLPNB1315004005	0.686
FKPLPNB1315005006	0.229
FKPLPNB1315006007	0.346
FKPLPNB1315006008	0.908
FKPLPNB1315008009	0.656
FKPLPNB1315008010	0.604
FKPLPNB1315010011	0.648
FKPLPNB1315010012	1.325
FKPLPNB1516004001	0.536
FKPLPNB1516001002	0.455
FKPLPNB1517005001	0.311
FKPLPNB1517001002	0.426
FKPLPNB1718002001	0.669
FKPLPNB1718001002	1.171
FKPLPNB0119046001	0.125
FKPLPNB0119001002	1.016
FKPLPNB0119002003	0.273
FKPLPNB0119002004	0.602



(Lanjutan) Tabel 2. Panjang Saluran (*Line*) per segmen

<i>Line</i>	Panjang (km)
FKPLPNB0119004005	0.807
FKPLPNB0120048001	0.37
FKPLPNB0120001002	1.656
FKPLPNB0120002003	1.249
FKPLPNB0120003004	1.016

## 5. PERANCANGAN PROGRAM

Perancangan program di buat agar dapat digunakan untuk menghitung indeks keandalan pada sistem distribusi yang bertipe radial. Sebagai objek penelitian dipilih Penyulang Penebel pada Gardu Induk Kapal. Penyulang Penebel adalah salah satu Penyulang yang terpanjang di GI Kapal, dengan panjangnya yang mencapai 131,792 km.

Program dirancang dengan pemrograman *Database MySQL* dan *interface Visual Basic*. Algoritma program disusun sebagai berikut:

1. Masukkan data kedalam sistem basis data
2. Menghitung lamda ( $\lambda_e$ ) dan ketaktersediaan tahunan *Feeder* anak ( $U_e$ )
3. Menghitung lamda ( $\lambda$ ) dan ketaktersediaan tahunan *Feeder* induk ( $U$ )
4. Menghitung indeks titik beban yang terdapat pada *Feeder* induk
5. Mengulang proses 2, 3 secara berurutan sampai titik beban yang terakhir di evaluasi
6. Menghitung SAIFI dan SAIDI Penyulang.

## 6. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil eksekusi program didapat indeks *load point*, dimana  $\lambda$  (Kegagalan/Tahun) terbesar dimiliki oleh gardu PB72, yaitu 2,0905 (Kegagalan/Tahun). Hal ini terjadi karena letak *load point* di Bentangan *Feeder* FKPLPNB1718, yang merupakan Bentangan *Feeder* paling ujung. Sementara itu  $U$  (Jam/Tahun) terbesar, yaitu sebesar 6,76 (Jam/Tahun) dimiliki oleh *load point* PB15, PB23, PB84, PB66, yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0120. Hal ini karena *load point* pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0120 terletak setelah ke-3 pemisah seksi.

Untuk kategori  $\lambda$  (Kegagalan/Tahun) terkecil sebesar 1,6508 (Kegagalan/Tahun) dimiliki oleh *load point* MI93, KD17, KD4, KD51, KD53, KD61, MA44, PB13, PB14, PB4, PB5, PB78, PB81, PB83, TB52, TB29, TB28, yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0101, karena *load point* terletak pada *Feeder* Utama.  $\lambda$  (Kegagalan/Tahun) terkecil juga dimiliki oleh *load point* pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0103 (KD52, KD 53), begitu juga untuk

*load point* yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0105 (TB8, TB7, TB81, TB43) . Sementara untuk  $U$  (Jam/Tahun) terkecil yaitu sebesar 2,8506 (Jam/Tahun) dimiliki oleh *load point* yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0101 (KD11, KD17, KD4, KD53, KD61), *load point* yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0102 (KD52, KD53), dan *load point* yang terletak pada Bentangan *Feeder* FKPLPNB0105 (TB8, TB7, TB81, TB43). Hal itu karena *load point* tersebut terletak sebelum ke-3 pemisah seksi dan tidak terletak pada *lateral section*.

Tabel 3. Indeks *Load Point* Penyulang Penebel

<i>Load Point</i>	$\lambda$ (Keggl./Th.)	r (Jam)	U (Jam/Th)
KD11	1.6508	1.72679913	2.8506
KD12	1.7282	1.783937012	3.083
KD17	1.6508	1.72679913	2.8506
KD36	1.6604	1.734160452	2.8794
KD4	1.6508	1.72679913	2.8506
KD51	1.6508	1.72679913	2.8506
KD52	1.6508	1.72679913	2.8506
KD53	1.6508	1.72679913	2.8506
KD58	1.6604	1.734220617	2.8795
KD61	1.6508	1.72679913	2.8506
KD81	1.6571	1.731699993	2.8696
KR32	1.8919	1.847666359	3.4956
KR33	1.8919	1.847666359	3.4956
KR34	1.8919	1.847666359	3.4956
MA25	1.7282	1.783937012	3.083
MA26	1.7282	1.783937012	3.083
MA44	1.6508	1.72679913	2.8506
MI161	1.7176	1.776315858	3.051
MI195	1.7176	1.776315858	3.051
MI49	1.7176	1.776315858	3.051
MI51	1.7176	1.776315858	3.051
MI52	1.7176	1.776315858	3.051
MI93	1.6508	1.72679913	2.8506
PB11	1.8458	3.101473602	5.7247
PB12	1.8592	3.100849829	5.7651
PB13	1.6508	3.700145428	6.1082
PB14	1.6508	3.902713698	6.4426
PB15	1.7566	3.848343521	6.76
PB16	1.7204	3.86619396	6.6514
PB22	1.7706	1.768722489	3.1317
PB23	1.7566	3.848343521	6.76
PB24	1.8458	3.101473602	5.7247
PB38	1.8919	1.847666359	3.4956
PB39	1.8006	3.104132042	5.5893
PB4	1.6508	3.700145428	6.1082
PB46	1.7706	1.768722489	3.1317
PB66	1.7566	3.848343521	6.76
PB67	1.6752	3.111867133	5.213
PB68	2.0617	3.090895835	6.3725
PB72	2.0906	3.089591395	6.4591

(Lanjutan) Tabel 3. Indeks *Load Point* Penyulang Penebel

<i>Load Point</i>	$\lambda$ (Keggl./Th.)	r (Jam)	U (Jam/Th)
PB73	1.6752	3.111867133	5.213
PB74	2.0355	3.092163993	6.2941
PB75	2.043	3.091727876	6.3164
PB76	2.0491	3.091552341	6.3349
PB77	2.04	3.09181377	6.3073
PB78	1.6508	3.700145428	6.1082
PB8	1.8006	3.104132042	5.5893
PB81	1.6508	3.700145428	6.1082
PB83	1.6508	3.700145428	6.1082
PB84	1.7566	3.848343521	6.76
PB9	1.8006	3.104132042	5.5893
TB11	1.9289	2.33589098	4.5057
TB12	1.6728	2.27773791	3.8102
TB13	1.7889	1.825144002	3.265
TB14	1.7889	1.825144002	3.265
TB15	1.6789	1.701471229	2.8566
TB28	1.6508	2.267930737	3.7439
TB29	1.6508	2.267930737	3.7439
TB31	1.675	2.278686637	3.8168
TB35	1.9289	2.33589098	4.5057
TB36	1.9289	2.33589098	4.5057
TB37	1.9289	2.33589098	4.5057
TB38	1.9289	2.33589098	4.5057
TB39	1.9289	2.33589098	4.5057
TB43	1.6508	1.72679913	2.8506
TB47	1.9289	2.33589098	4.5057
TB52	1.6508	2.267930737	3.7439
TB56	1.6789	1.701471229	2.8566
TB62	1.7889	1.825144002	3.265
TB7	1.6508	1.72679913	2.8506
TB76	1.9289	2.33589098	4.5057
TB8	1.6508	1.72679913	2.8506
TB81	1.6508	1.72679913	2.8506
PB56	1.8223	3.102837191	5.6543
PB57	1.8458	3.101473602	5.7247
PB58	2.027	3.09250116	6.2685
PB61	2.0452	3.091629158	6.323
PB62	2.027	3.09250116	6.2685
PB63	1.6791	3.887558699	6.5276
PB55	1.7204	3.86619396	6.6514
PB59	2.027	3.09250116	6.2685
PB48	2.0164	3.092937871	6.2366
PB49	2.0164	3.092937871	6.2366
PB5	1.6508	2.267930737	3.7439
PB51	2.0164	3.092937871	6.2366
PB52	2.0164	3.092937871	6.2366

(Lanjutan) Tabel 3. Indeks *Load Point* Penyulang Penebel

<i>Load Point</i>	$\Lambda$ (Keggl./Th.)	r (Jam)	U (Jam/Th)
PB5	1.6508	2.267930737	3.7439
PB51	2.0164	3.092937871	6.2366
PB52	2.0164	3.092937871	6.2366
PB53	1.7204	3.86619396	6.6514
PB54	1.7204	3.86619396	6.6514
KD11	1.6508	1.72679913	2.8506
KD12	1.7282	1.783937012	3.083
KD17	1.6508	1.72679913	2.8506
KD36	1.6604	1.734160452	2.8794
KD4	1.6508	1.72679913	2.8506
KD51	1.6508	1.72679913	2.8506
KD52	1.6508	1.72679913	2.8506
KD53	1.6508	1.72679913	2.8506
KD58	1.6604	1.734220617	2.8795
PB64	2.027	3.09250116	6.2685

Hasil ekskusi program menunjukkan nilai SAIFI adalah sebesar 1.7594 (Pemadaman /Pelanggan.Tahun), hal ini mengisyaratkan bahwa rata-rata pemadaman adalah 1.7594 kali pemadaman perpelanggan pertahunnya. Sementara harga SAIDI sebesar 4.248 (Jam/Pelanggan.Tahun), hal ini mengisyaratkan bahwa rata-rata lama pemadaman adalah 4.248 jam perpelanggan pertahunnya

## 7. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan program dapat diperoleh SAIFI dan SAIDI dari Penyulang sebesar 1.76 (Pemadaman/Pelanggan.Tahun) dan SAIDI sebesar 4.25 (Jam/Pelanggan. Tahun).

## 8. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Billinton, R., Allan, Ronald N. 1996. **Reliability Evaluation of Power Systems**. 2nd ed. New York: Plenum Press.
- [2] Billinton. R, Wang. P, 1998. **Reliability Network Equivalent Approach to Distribution System Reliability Evaluation**. IEEE Proc-Gener. Distrib, vol.145, no.2.
- [3] Ebeling, Charles E. 1996. **An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering**. Singapura : The McGraw-Hill Companies, Inc
- [4] Williams. R. H, 2003. **Probability, Statistic, and Random Processes for Engineers**. USA: Thomson Brook
- [5] PT. PLN (Persero). 1985. **SPLN 59: Keandalan Pada Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV**. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.