

**STRATEGI DAN PENEMPATAN SISTEM KOORDINASI FUSE - RECLOSER  
KARENA ADANYA PEMBANGKIT TERSEBAR PADA SISTEM DISTRIBUSI**

**TESIS**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**MINAT SISTEM TENAGA LISTRIK**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Magister Teknik



Moch.Fahrulrozi

Nim : 146060300111026

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2019**



## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....

KATA PENGANTAR .....

DAFTAR ISI .....

DAFTAR TABEL .....

LAMPIRAN .....

DAFTAR GAMBAR .....

BAB I PENDAHULUAN .....

1.1 Latar Belakang .....

1.2 Rumusan Masalah .....

1.3 Tujuan Penelitian .....

1.4 Batasan Masalah .....

1.5 Manfaat Penelitian .....

BAB II LANDASAN TEORI .....

2.1 Tinjauan Pustaka .....

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....

2.3 Analisis Aliran Daya .....

2.4 Persamaan Aliran Daya .....

2.5 Analisis Gangguan Hubung Singkat .....

2.6 Tipe Gangguan Hubung Singkat .....

1. Komponen Simetris .....

2. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah .....

3. Gangguan Hubung Singkat 2 fasa .....

4. Gangguan Hubung Singkat 3 fasa ke Ground .....

2.7 Keandalan Sistem Distribusi .....

2.8 Parameter Keandalan .....

a. Laju Kegagalan .....

b. Indeks Keandalan dari sisi gangguan Pelanggan .....

a. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI) .....

Halaman .....

i .....

iii .....

iv .....

vii .....

x .....

1 .....

3 .....

3 .....

3 .....

4 .....

4 .....

5 .....

5 .....

6 .....

7 .....

13 .....

14 .....

14 .....

16 .....

18 .....

19 .....

20 .....

20 .....

20 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

21 .....

b.	System Average Interruption Duration Index (SAID) .....	21
c.	Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI).....	22
2.9	Pemutus Tenaga (Circuit Breaker) .....	23
2.10	Fuse .....	23
2.11	Recloser (RC) .....	24
2.12	Sectionalizer (SakralSeksiOtomatis).....	25
2.13	Metode Section Technique (ST).....	25
2.14	Particle Swarm Optimization (PSO) .....	26
<b>BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN</b>		
3.1	Kerangka Berpikir .....	27
3.2	Variabel Penelitian .....	27
3.3	Hipotesis .....	27
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	29
4.2	TahapanPenelitian .....	29
4.3	Pengambilan Data.....	30
4.4	PerancanganSistem.....	33
4.5	Metode Section Technique .....	34
4.6	Metode Particle Swarm Optimization (PSO) .....	36
4.7	AnalisisdanSimulasi .....	39
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		
5.1	LokasiPenelitian .....	41
5.1.1	LokasiPembangkitTersebar ( <i>Distributed Generation</i> ) .....	41
5.1.2	PT PLN GarduIndukSengkaling .....	41
5.2.1	Data EksistingSistem 20 kV .....	43
5.2.2	Data Total KonsumenSetiap <i>Load Point</i> PenyulangPujon.....	45
5.2.3	AnalisisData SistemEksisting .....	49
5.3	SimulasidanAnalisis .....	50
5.3.1	SimulasiSkenario .....	51
5.3.2	SistemEksistingPenyulangPujon 20 kV.....	51
5.3.3	SistemEksisting di Injeksidengan Photovoltaic (PV) .....	53

5.3.4 SistemEksisting di Injeksidengan Wind Power Pland (WPP) .....	55
5.3.5 SistemEksisting di Injeksidengan PV dan WPP .....	57
<b>5.4 AnalisisGangguanHubungSingkat.....</b>	<b>60</b>
5.5 Keandaalan .....	63
5.5.1 LajuKegagalan .....	63
5.5.2 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section I.....	64
5.5.3 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section II.....	67
5.5.4 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section III .....	70
5.5.5 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section IV .....	78
5.5.6 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section V .....	81
5.5.7 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section VI .....	89
5.5.8 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section VII.....	92
5.5.9 PerhitunganIndeksKeandalan dengan data Eksiting Section VIII .....	97
5.6 PerhitunganIndeksKeandalan dengan Injeksi PV Ssection I-VIII.....	104
5.7 PerhitunganIndeksKeandalan dengan Injeksi WPP Ssection I-VIII .....	104
5.8 PerhitunganIndeksKeandalan dengan Injeksi PV dan WPP Ssection I-VIII.....	105
5.9 KoordinasiPenempatan Fuse-RecloserdenganMetode PSO .....	105
5.9.1 KoordinasiPenempatanFuse-Recloserdengan data Eksisting Metode PSO .....	106
5.9.2 KoordinasiPenempatanFuse-RecloserdenganInjeksi PV Metode PSO .....	107
5.9.3 KoordinasiPenempatanFuse-RecloserdenganInjeksi WPP Metode PSO .....	108
5.9.4 KoordinasiPenempatanFuse-RecloserdenganInjeksi PV dan WPP Metode PSO .....	109
5.10 AnalisisRelokasiRecloserdenganMetode PSO data EksistingInjeksi PV dan WPP PenyulangPujon .....	112
<b>BAB VI PENUTUP</b>	
6.1 Kesimpulan.....	115
6.2 Saran .....	115
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>117</b>





## 1.1 Latar Belakang

Dimasasekaranginikebutuhanakanenergilistrikbeperan dalamsemuaaspekjadiperluadanyaupayadalammelindungiketersediaansumberenergilistrikbaikdarisisipembangkitan (sumber) ataupunsisipenyaluransistemtenagalistrikitusendiri.

Kendalauntuk menjaga fungsi ketersediaanlistrikantara lain menanganipermasalahcepat dan mengisolasi daerah terdampak. Distribusi dapat dijaga dengan cara menghindarkan atau meminimalkan ganguan-gangguan yang menyebabkan pemadaman listrik. Keandalan yang merupakan penampilan peralatan atau sistem harus sesuai dengan yang ditargetkan dalam jangka waktu tertentu. Berbagai upaya harus dilakukan yaitu dengan cara menekan rugi-rugi dan memperbaiki kualitas daya yang disalurkan serta peningkatan fleksibilitas dan keandalan sistem (Marsudi, Djitheng 2006).

Kegagalan suatu sistem operasi peralatan dapat terjadi dikarenakan oleh faktor kesalahan manusia baik disengaja maupun tidak disengaja atau disebabkan oleh faktor alam. Sebagaimana usaha dalam menghindari suatu gangguan menggunakan cara mengisolasi daerah yang terganggu secara tepat dan terkoordinasi dengan baik untuk menghindar terjadinya kesalahan operasi sistem proteksi pada sistem jaringan listrik yang dibatasi oleh faktor ekonomis dan alam.

Menurut Marsudi, Djitheng (2006) padasistemkelistrikan yang dekatpelangganialahsitemdistribusi.

Sistemjaringankelistrikansalahsatuhalutamamasalahyangditimbulkanadalahgangguansehinggaadaalampengoperasiannyaengatasigangguangangguanpadasistemnicukupbanyakterjadidijika bandingkandenganpembangkitatausalurantransmisi,

Denganadanyapenambahanpembangkittersebaratau*Distributed Generation* (DG) makapadasistemmenjadikompleks. Maka, yang munculdari DG terhadapsistem yang menimbulkandampak *load flow* berbalikdanterjadiperubahandanprofilegangang yang kompleks.

Berkaitandengansistemproteksipadasistemdistribusidikarenakanadananayainjeksi merubahsistemproteksidanjumlahkomponenperlitanproteksi (Girgisdkk, 2001).

## BAB I PENDAHULUAN

Dalam mengatasi permasalahan pada sistem perluadanya strategi sistem proteksi. Koordinasi adalah cara untuk menentukan pengaman mana yang berjasa sesuai urutan dan kesiapan sistemnya. Untuk berjalan dengan baik, maka sistem perlu dilindungi agar tidak terjadi gangguan.

Untuk memudahkan pengamanan terhadap gangguan perlu menggunakan metode mengatasi terjadinya sebuah gangguan, maka digunakan pengaman jenis pelebur (*fuse*) dan *rele*. *Fuse* adalah sebuah alat yang berjalan dengan memutuskan elemen dalamnya agar dapat melindungi sistem ketika ada gangguan yang melewati sasis atau yang melewati sasis.

*Fuse* pada dasarnya terdiri dari unsur logam yang meleleh ketika 'berlebihan' arus mengalir melalui itu. Besarnya arus yang berlebihan akan bervariasi berbanding terbalik dengan durasi. Waktu karakteristik saat ini tidak hanya ditentukan oleh jenis logam yang digunakan dan dimensi (termasuk konfigurasi), tetapi juga pada jenis lingkup dan dudukan, yang terakhir tidak hanya mempengaruhi waktu leleh, tetapi, di samping itu, mempengaruhi waktu busur menghapus. Waktu pembersihan dari sekering, maka, adalah jumlah waktu dan busur menghapus waktu mencair (Pansini, Anthony J 1988).

*Recloser* merupakan sebuah komponen peralatan yang biasanya terpasang pada sistem distribusi dimana cara kerjanya secara otomatis.

Pada periode pertama gangguan *recloser* akan membuka sampaikan dengan waktu yang telah ditentukan. Setelah arus gangguan hilang *recloser* akan menutup kembali dan bekerja.

Bila arus gangguan masih terjadi maka *recloser* akan menutup kembali. Dan pada tahap ke 3 masih ada gangguan maka *recloser* akan menutup secara permanen.

Penyulang Pujon bersumber dari Gardu Induk Sengkaling mempunyai dua Trafo terdiri dari Trafo IV dan Trafo III meyuplai Karang Ploso, Junrejo dan Wastra Indah yang merupakan daerah pemukiman yang sedang berkembang dan penyulang Pujon dengan daerah peternakan sapi dan pengolahan susu. Sedangkan Trafo IV meyuplai Penyulang Tegal Gondo yang merupakan daerah pemukiman yang sedang berkembang. Penyulang Dinoyo yang merupakan daerah pemukiman dan pertokoan dan Penyulang Batu, Selecta sebagai Kota wisata yang sedang melakukannya penambahan infrastruktur (Kuncoro, Eko 2016).

Repository Universitas Brawijaya  
Repository Universitas Brawijaya

Pada Penyulang Pujon adapotensi injeksi PV dan WPP dengan masing-masing kapasitasan 2 MVA dan 1,3 MVA berada pada area Gunung Banyak Kota Wisata Batu (Lukman, 2016).

Ketidakandalan penyiaran atau tenaga listrik mengakibatkan rugi yang dialami PLN.

Indeks keandalan Penyulang Pujon nilai SAIFI dan SAIDI yakni 2,41 kali/tahun dan 103,27 jam/tahun dan berada rendah daripada ketetapan PLN dari SPLN 68-2 1986.

Berdasarkan masalah diatas akan membahas strategi dan penempatan koordinasi antar *fuse-recloser* dalam mengisolasi gangguan pada Gardu Induk Sengkaling menggunakan PSO (*Particle Swarm Optimization*) karena adanya pembangkit tersebar. Pemodelan koordinasi *fuse-recloser* bertujuan untuk mengetahui kemampuannya dalam mengisolasi arus gangguan setengah siklus awal dan dalam siklus berikutnya (*study state*) karena adanya pembangkit tersebar pada sistem distribusi. Simulasi yang dipilih pada studi kasus menggunakan *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP).

## 1.2 Rumusan Masalah

Suapayauraian diatau capain rumus dan alam penelitian ini bahwa Penyulang Pujon mengalami perubahan sistem prot eksidengan penggabungan dari sumber Pembangkit listrik Tenaga Surya-Angin. Dengan diinjeksi surya-angin pada saluran distribusi 20 kV sistem GI Sengkaling-Peyulang Pujon, mempengaruhi jumlah komponen peralatan pada saluran distribusi khususnya pada bus terdekat. Makaperluadanya strategi penempatan koordinasi *fuse-recloser* dengan metode PSO karena adanya pembangkit tersebar.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini membahas relokasi *recloser* pada Penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebar. adanya pembangkit tersebut makajumlah komponen peralatan mempengaruhi jalur ke gagalan, waktu pemadam dan waktu pemindahan pada sistem Penyulang Pujon. Hal ini menyebabkan terjadiperubahan kinerja jarak koordinasi *fuse-recloser* sehingga keandalan sistem dalam mengaman jaringan distribusi menurun.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini jangkauan substansi yang perlu makadiperlukan adanya batasan masalah:

1. Strategi penempatan Koordinasi *fuse-recloser* karena adaanya pembangkit tersebar.
2. Menggunakan PSO (*Particle swarm optimization*) untuk koordinasi penempatan *fuse-recloser* karena adaanya pembangkit tersebar.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Dampak studi dari penelitian ini dapat bermacam-macam berikut:

1. Memberikan masukan kandungan bidang akademik bagi sistem distribusi, terkhusus dalam ilmu sistem tenaga listrik.

Sebagai bahan masukan kepada PLN agar kedepannya menjadi pertimbangan dalam perencanaan sistem proteksi karena adaanya pembangkit tersebar.

## **BAB II**

## **LANDASAN TEORI**

## 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam praktik ketenaga listrikan khususnya distribusi tenaga listrik salah satu bagian dari sistem tersebut yang terdiri dari Gardu Induk mengalir sampai pelanggan yang dimulai dari sumber pembangkit di transmisikan ke GI dari GI di distribusikan melalui sistem distribusi sampai konsumen. Pada sistem distribusi mempunyai komponen peralatan pengaman yang saling terkait untuk mengamankan pada sisi konsumen agar terjaga kelangsungan ketersedian penyaluran tenaga listrik.

Pengukuran keefektifan keandalan dapat diperoleh dengan memperhatikan perilaku dari sejumlah besar objek yang identik dalam suatu periode operasi atau pengujian yang bersamaan.

Cara inilah yang sering disebut sebagai metode untuk mencari indeks keandalan suatu objek.

Menurut Willis (2004) dalam evaluasi keandalan sistem perlu dilakukan analisis berdasarkan data histori bertujuan mencari besar penyebab masalah untuk sistem dan sebagai pembanding juga perlu dianalisi prediksi keandalan yang ideal berdasarkan indeks keandalan standar peralatan-peralatan yang terpasang pada jaringan.

Menurut Graziano (1992) perlindungan sistem adalah masalah koordinasi yang strategis untuk *utilitas*, dalam hal ini mempengaruhi secara dramatis sebagian besar aspek transisi dan distribusi yang berdampak pada keandalan transmisi dan distribusi. Konsekuensi dari koordinasi dalam sistem proteksi mempengaruhi fungsi perencanaan serta operasi sistem, dan kurangnya koordinasi dapat memberi efek yang jauh, bahkan sampai pada gangguan jaringan.

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Pada teori ilmu kelistrikan ada sebuah sistem yang umum digunakan ialah sistem radial atau penyulang. Rangkian tersebut terdiri dari rangkaian sendiri yang seakan-akan keluar dari sumber tertentu secara radial. Sistem ini terdiri dari bagian saluran samping dan bersumber pada trafo distribusi.

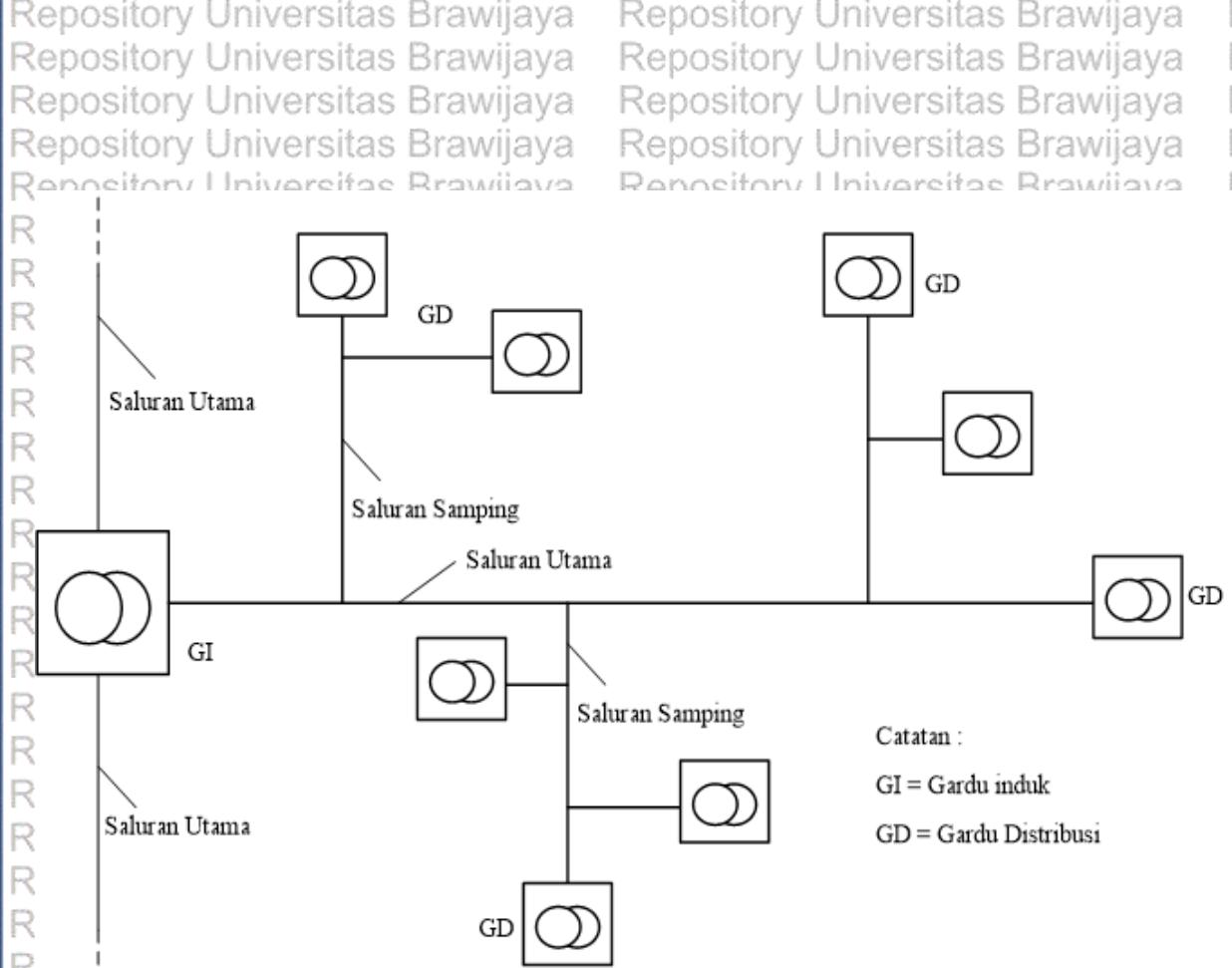
Gambar 2.1 Sistem Radial(Marsudi 2006)

Saluran samping dihubungkan dengan fider dan terhubung dengan fuse. Jika fuse mengalami gangguan pada saluran tersebut maka saluran lain tidak terganggu. Apabila fuse tidak beroperasi semestinya maka proteksi yang lain akan beroperasi tanpa mengganggu fider yang lain.

Keuntungan dari sistem ini lebih simple dan ekonomis dibandingkan pola sistem yang lain. Namun kenadalan sistem radial masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan sistem lain. Ini disebabkan oleh terdapat satu jalur yang menyuplai jika terjadi gangguan maka berdampak pada sistem dan akan mati total.

### 2.3 Analisis Aliran Daya

Pada metode aliran daya memegang peranan penting dalam studi kasus tenaga listrik. Bagian ini dapat diketahui besaran sudut dan tegangan pada setiap node (bus), impedansi saluran, daya aktif dan reaktif yang melalui saluran jaringan listrik. Besaran tersebut berguna untuk mengevaluasi kinerja suatu sistem kelistrika pada pembangkitan, saluran transmisi, dan beban dalam kondisi normal hingga kondisi saat mengalami ketidakstabilan.



Catatan :  
GI = Gardu induk  
GD = Gardu Distribusi

Umumnya permasalahan yang timbul dari studi aliran daya adalah ketika beban antara fasa satu dengan lainnya tidak seimbang. Perhitungan aliran daya mencakup besaran daya aktif, reaktif dan tegangan pada saluran transmisi atau atar bus yang dihasilkan oleh pembangkit.

Bus dimaksud terdiri atas tiga bagian, sebagai berikut:

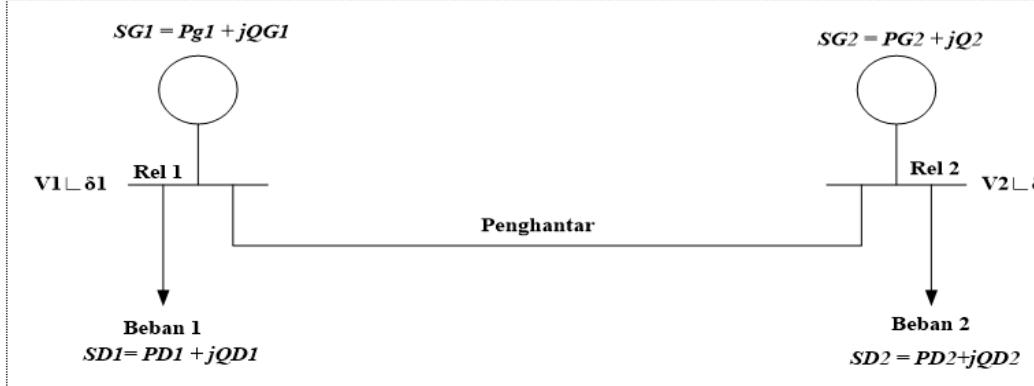
1. *Slack bus* atau disebut juga *swing bus* / *bus referensi*. Pada bus ini nilai tegangan dipertahankan (Magnitude tegangan sebesar 1 p.u). Prakteknya ada 1 bus yang di anggap sebagai penyuplai yang mengalami fluktuasi rugi-rugi daya tidak pada ditentukan yang dibangkitkan oleh pembangkit. Daya P dan Q yang ditransfer dari bus ini berubah-ubah sesuai dengan dialami.
2. *Bus Pembangkit* atau disebut juga *Voltage Controlled Bus* merupakan bus penyuplai daya aktif dan reaktif yang ditetapkan. Berbeda dengan *Slack bus*, bus ini menyalurkan secara total. Daya P dan Q tidak berubah-ubah, sehingga nilai tegangan pada bus ini berubah-ubah.
3. *Bus beban* merupakan bus tempat beban-beban. Besar nilai beban tidak dapat ditentukan tetapi biasanya pada studi aliran daya diambil nilai beban puncak sebagai data.

Untuk kebutuhan studi aliran daya, terdapat data-data dari bus dan data dari saluran transmisi pada sebuah sistem tenaga listrik sebagai berikut:

1. Magnitude tegangan dalam per unit
2. Sudut tegangan ( $\theta$ )
3. Besaran pembebangan daya aktif (P) dan reatif (Q)
4. Besaran pembangkit daya aktif (P) dan reaktif (Q) Q min dan Q max
5. Resistansi saluran transmisi (p.u)
6. Reaktansi saluran transmis (p.u)
7. Tap transformator bernilai 1 dalam per unit
8. Rating tegangan dalam kilo volt (kV)

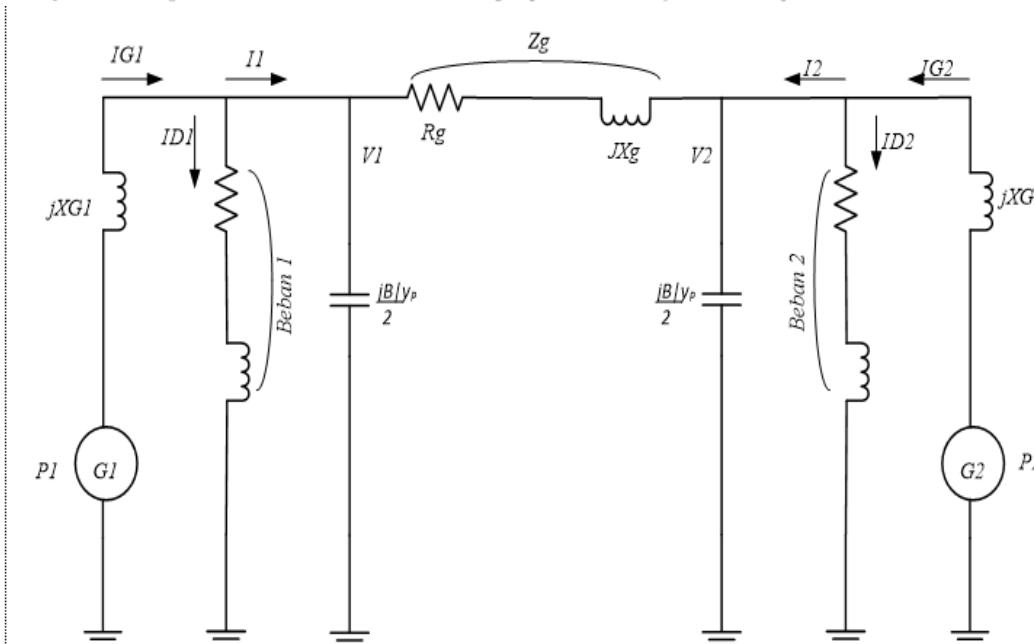
## 2.4 Persamaan Aliran Daya

Rangkaian sederhana dari analisis aliran daya di tunjukkan oleh gambar 2.2, mempunyai II rel masing-masing rel mempunyai sebuah sumber dan beban masing-masing. Pada sistem tersebut mempunyai pengantar antar 1 rel dengan yang lainnya dan terdiri enam besaran PD, PG, QD, QG, V dan  $\delta$ .



Gambar 2.2 Diagram garis sistem 2 rel (Stevenson, 1996).

Pada gambar 2.2 menampilkan bagan impedansi sebuah pembangkit sikron yang dianggap menjadi sumber pembangkit mempunyai reaktansi dan transmisi dan beban di anggap impedansi stabil dan daya stabil



Gambar 2.3 Diagram impedansi 2 rel (Stevenson, 1996)

Besaran dayanya sebagai berikut:

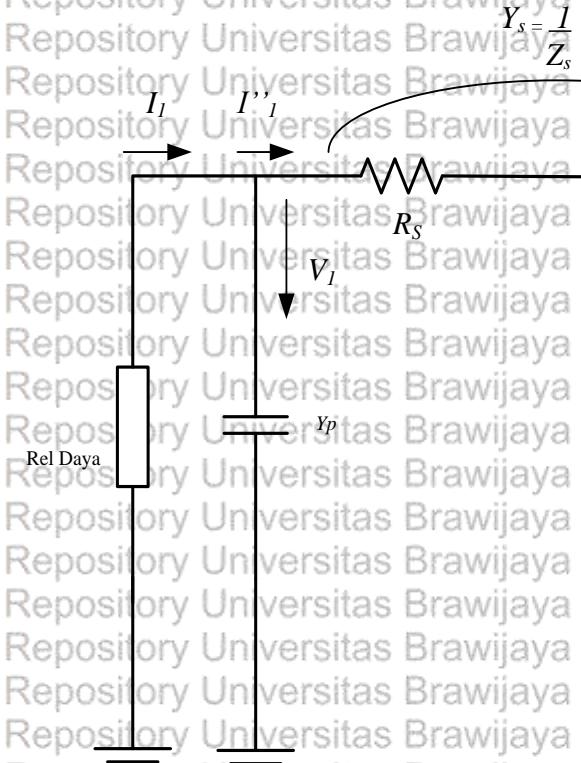
$$S1 = SG1 - Sg1 = (Pg1 - Pg1) + j(Qg1 - Qg1) \quad (2.1)$$

$$S2 = SG2 - Sg2 = (Pg2 - Pg2) + j(Qg2 - Qg2) \quad (2.2)$$

Gambar 2.3 dalam bentuk penyederhanaan gambar 2.2 daya real masing-masing rel.



Dalam satuan per unit besaran di asumsikan sebagai berikut:



Gambar 2.5 Rangkaian ekuivalen aliran arus (Stevenson,1996)

Pada gambar 2.4 bagan aliran arus di tampilkan, di mana arus pada rel 1 ialah:

$$\hat{I}_1 = \hat{I}'_1 + \hat{I}''_1$$

$$\hat{I}_1 = \hat{V}_1 y_p + (\hat{V}_1 - \hat{V}_2) y_s$$

$$\hat{I}_1 = (y_p + y_s) \hat{V}_1 + (-y_s) \hat{V}_2$$

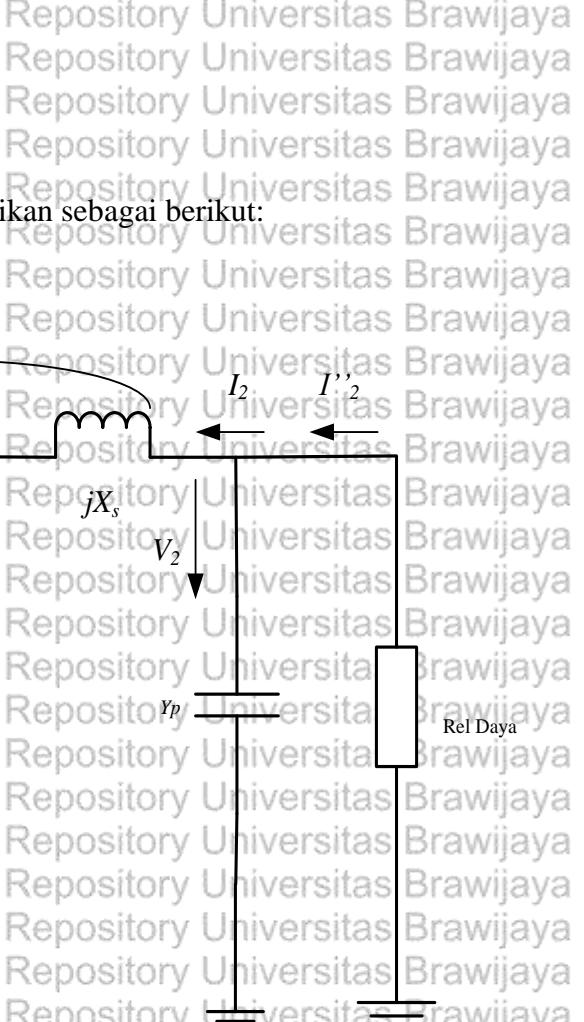
$$\hat{I}_1 = Y_{11} \hat{V}_1 + Y_{12} \hat{V}_2$$

Keterangan:

$$Y_{11} \text{ total admintasi rel 1} = y_p + y_s$$

$$Y_{12} \text{ total negatif admintasi rel 2} = -y_s$$

Pada aliran daya arus rel 1 sebagai berikut:



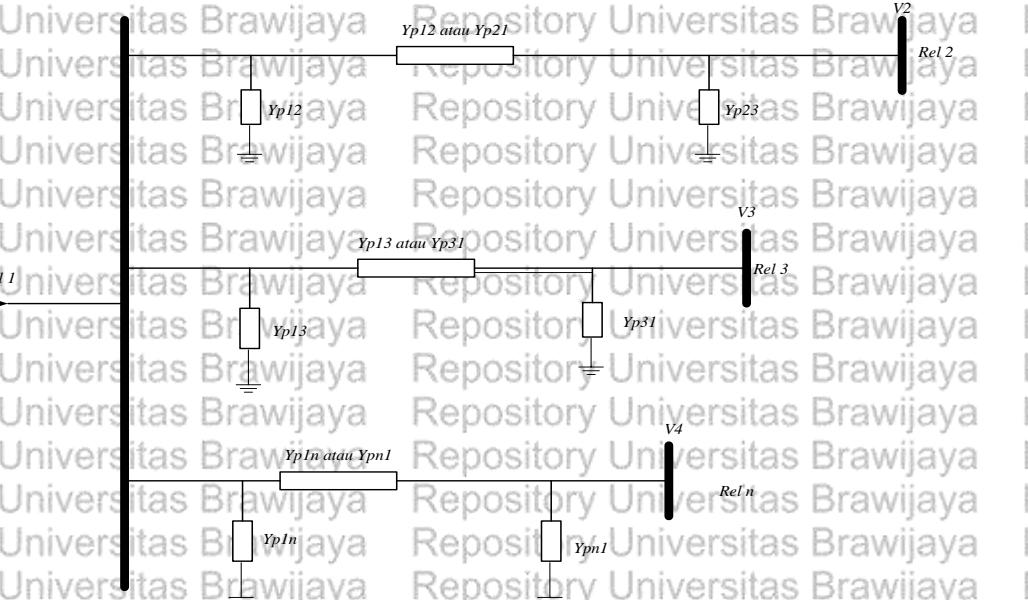
$$(2.7)$$

$$(2.8)$$

$$(2.9)$$

$$(2.10)$$





Gambar 2.7 Model transmisi  $\pi$  untuk sistem  $n$ -rel (Stevenson, 1996)

Pada gambar 2.6 didapatkan rumus sebagai berikut:

$$\hat{I}_1 = \hat{V}_1 y_{p12} + \hat{V}_1 y_{p13} + \dots + \hat{V}_1 y_{p1n} + (\hat{V}_1 - \hat{V}_2) Y_{12} + (\hat{V}_1 - \hat{V}_3) y_{s13} + \dots + (\hat{V}_1 - \hat{V}_n) y_{1n}$$

$$\hat{I}_1 = (y_{p12} + y_{p13} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + y_{s13} + \dots + y_{s1n}) \hat{V}_n - y_{12} \hat{V}_2 - y_{13} \hat{V}_3 + \dots - y_{1n} \hat{V}_n \quad (2.17)$$

$$\hat{I}_1 = Y_{11} \hat{V}_1 + Y_{12} \hat{V}_2 + Y_{13} \hat{V}_3 \dots + Y_{1n} \hat{V}_n$$

Keterangan

$$Y_{11} = y_{p12} + y_{p13} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + y_{s13} + \dots + y_{s1n} \quad (2.19)$$

$Y_{11}$  = total admintasi dihubung pada rel 1

$$Y_{12} = -y_{p12}; y_{13} = -y_{s13}; y_{1n} = -y_{s1n} \quad (2.20)$$

Dari persamaan 2.12 dapat diselesaikan persamaan 2.5 menjadi 2.22 sebagai berikut:

$$\hat{I}_1 = \sum_{j=1}^n Y_{1j} \hat{V}_j \quad (2.21)$$

$$P_1 - jQ_1 = \hat{V}_1 I_1 = \hat{V}_1 \sum_{j=1}^n Y_{1j} \hat{V}_j \quad (2.22)$$

$$P_1 - jQ_1 = \hat{V}_1 \sum_{j=1}^n Y_{1j} \hat{V}_j \quad (2.23)$$

$$i = 1, 2, 3 \dots n$$

Pada persamaan 2.23 menunjukkan representasi dari rumus aliran daya yang tidak linear untuk semua n-rel, dari persamaan 2.15 menghasil persamaan 2.24 sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \\ \vdots \\ \hat{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} Y_{12} \dots Y_{1n} \\ Y_{21} Y_{22} \dots Y_{2n} \\ \vdots \dots \vdots \\ Y_{n1} Y_{n2} \dots Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \\ \vdots \\ \hat{V}_n \end{bmatrix}$$

Dalam notasi matrik dari rumus 2.24 sebagai berikut:

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$$

Maka:

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} Y_{12} \dots Y_{1n} \\ Y_{21} Y_{22} \dots Y_{2n} \\ \vdots \dots \vdots \\ Y_{n1} Y_{n2} \dots Y_{nn} \end{bmatrix} = \text{matrik rel admitansi} \quad (2.26)$$

## 2.5 Analisis Gangguan Hubung Singkat

Tidak dapat bekerjaan sebuah peralatan atau perangkat sebagaimana fungsinya didefinisikan sebagai gangguan menurut ANSI/IEEE 100-1992. Hubung singkat akan terjadi antara fasa ke fasa melalui impendensi dan biasanya disebut sebagai arus gangguan hubung singkat.

Kedan dalam sistem abnormal di impendensi yang relatif kecil terjadi tanpa sengaja yang mempunyai beda potensial di sebut dengan hubung singkat (SC). Dalam upaya mengatasi SC dibutuhkan sebuah metode yang beryujuan menganalisi pengaman (*proteksi*) sesuai dengan standar yang berlaku dapat ditentukan.

Analisis hubung singkat ialah suatu metode dalam mengetahui kontribusi arus SC yang melalui titik percabangan didalam sistem tenaga listrik.

Dalam menganalisis SC memiliki bertujuan untuk:

1. Menganalisis arus maks dan min SC
2. Mendefinisikan arus SC tidak seimbang antar fasa dan fasa ke ground *open loop*
3. Mempelajari operasi rele proteksi
4. Menentukan kapasitas sistem proteksi
5. Mempelajari penetuan distribusi SC dan fasa tegangan busbar periode gangguan

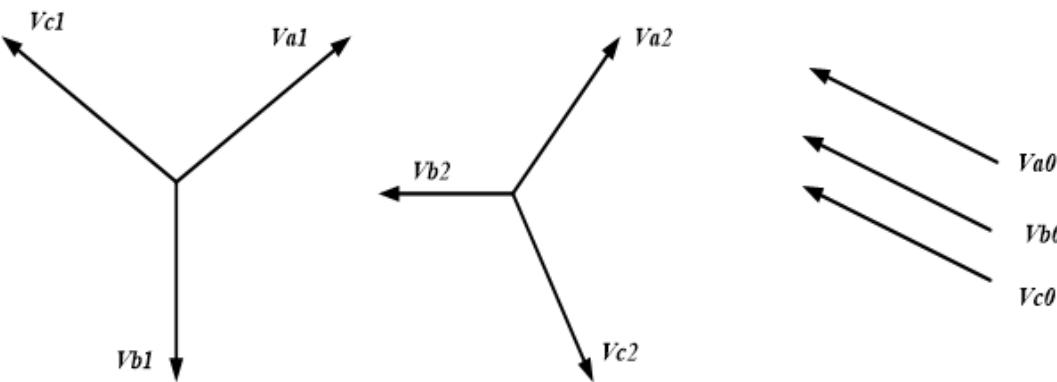
## 2.6 Tipe Gangguan Short Circuit

### 1. Komponen Seimbang

Dalam analisis gangguan SC komponen seimbang yang sering terjadi seperti gangguan 3 fasa, 2 fasa dan fasa to ground. Pada gangguan sistem tak seimbang dirubah dalam persamaan rangkaian urutan positif, negatif dan nol. Berdasarkan teori *Fortescue* ada 3 fasor tak simetris pada sistem tiga fasa terdapat penjabaran menjadi tiga fasor simetris.

Komponen simetris tersebut adalah sebagai berikut: (Stevenson, 1996)

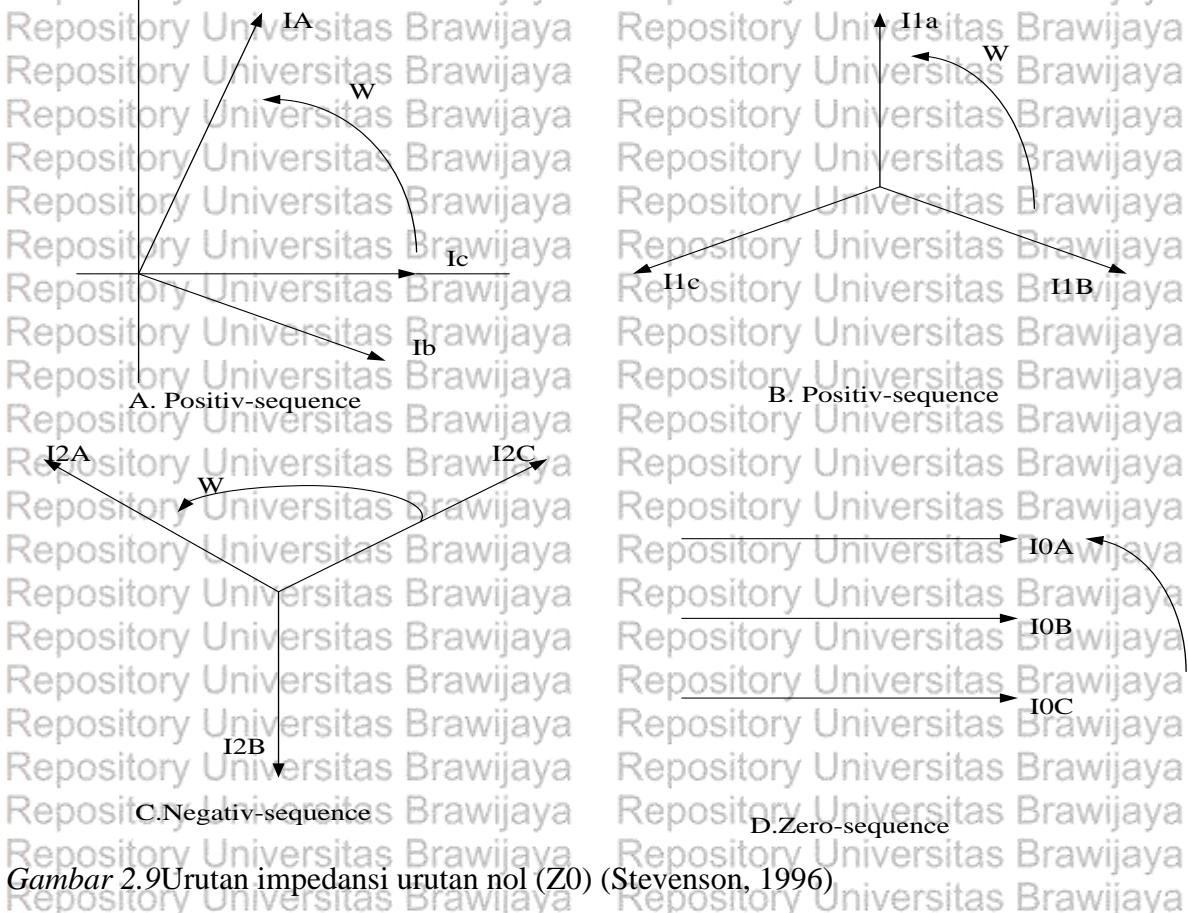
1. Urutan positif mempunyai tiga fasor sama besar berbeda satu dengan yang lain dengan beda fasa  $120^\circ$
2. Urutan negatif mempunyai besaran fasor yang sama dan urutan fasa nya berlawanan fasor asli beda sudut  $120^\circ$
3. Urutan zero (nol) mempunyai tiga fasor seperti yang lain sama besar pergeseran fasa nol antar fasor yang lain.



Gambar 2.8 Vektor diagram untuk komponen simetris (Stevenson, 1996)

Komponen seimbang terpengaruh pada impedansi saluran dan tergantung dari jenis pengahantarnya serta ukuran diameter penampang penghantar tersebut. Pada komponen ini menimbulkan drops tegangan berdasarkan urutan arus dan tidak terpengaruh pada urutan arus lain yang berarti setiap urutan yang simetris berdiri sendiri. Ketidak seimbangan arus dan tegangan menyebabkan impedansi urutan positif, negatif dan nol timbul. Sama seperti arus dan tegangan komponen seimbang mempunyai tiga impedansi sebagai berikut:

1. Urutan positif ( $Z_1$ ) mempunyai 3 impedansi fasa seimbang terukur jika di aliri arus positif.
2. Urutan negatif( $Z_2$ ) bila dialiri arus urutan negative dan mempunyai impedansi tiga fase seimbang.
3. Urutan nol ( $Z_3$ ) bila di aliri arus urutan nol dan mempunyai tiga fasa seimbang.



Gambar 2.9 Urutan impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) (Stevenson, 1996)

I<sub>A</sub> = I<sub>1A</sub> + I<sub>2A</sub> + I<sub>0</sub> Universitas Brawijaya

$I_B = a^2 I_{1A} + aI_{2A} + I_0$

JG = a J<sub>1</sub><sup>2</sup> + a<sup>2</sup> J<sub>2</sub><sup>2</sup> + J<sub>0</sub>

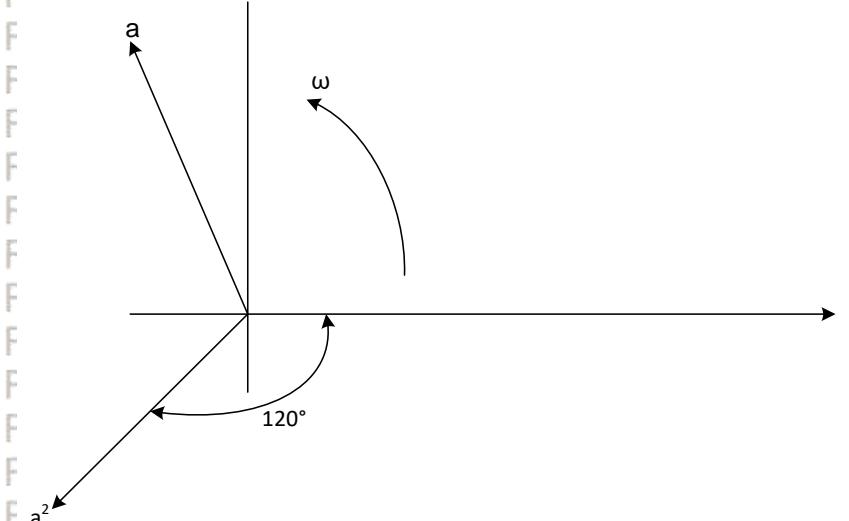
Pada persamaan 2.27, 2.28 dan 2.29 di peroleh persamaan sebagai berikut:

$$I_{1A} = 1/3 (I_A + aI_B + a^2I_C)$$

J<sub>B</sub><sup>2</sup> = 1/3 (J<sub>B</sub><sup>2</sup> + a<sup>2</sup>J<sub>B</sub> + aJ<sub>C</sub>)

Situs Universitas Brawijaya

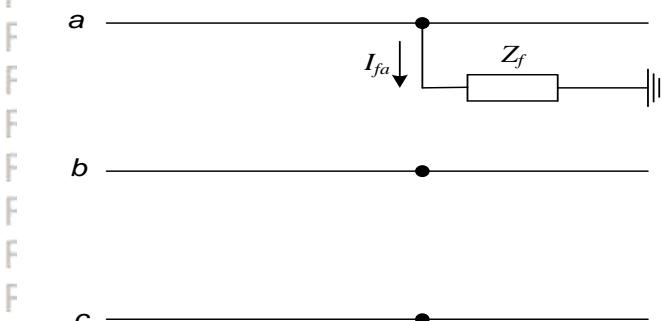
Pada persamaan di atas, terdapat operator  $a$  yang merupakan unit vector pembentuk sudut  $120^\circ$  berlawanan arah jarum jam.



*Gambar 2.10 Vektor sudut 120° berlawanan jarum jam (Stevenson, 1996)*

## 2. Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Jika sebuah fasa terhubung baik di sengaja atau tidak disengaja menyentuh tanah pada sistem jaringan listrik di tunjukan oleh gambar 2.5 dan di sebut gangguan arus hubung singkat 1 fasa



Gambar 2.11 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke ground (Stevenson, 1996)

Ketika terjadi gangguan ini terjadi, maka

Universitas Brawijaya

Universitas Brawijaya  
Lain = 0.000

Universitas Brawijaya  
Universitas Brawijaya

Universitas Brawijaya

Dengan  $I_{fb} = I_{fc} = 0$ , diperoleh

Universitas Brawijaya

Dengan  $J_a^c = J_c^c = 0$ , diperoleh komponen simetris arus

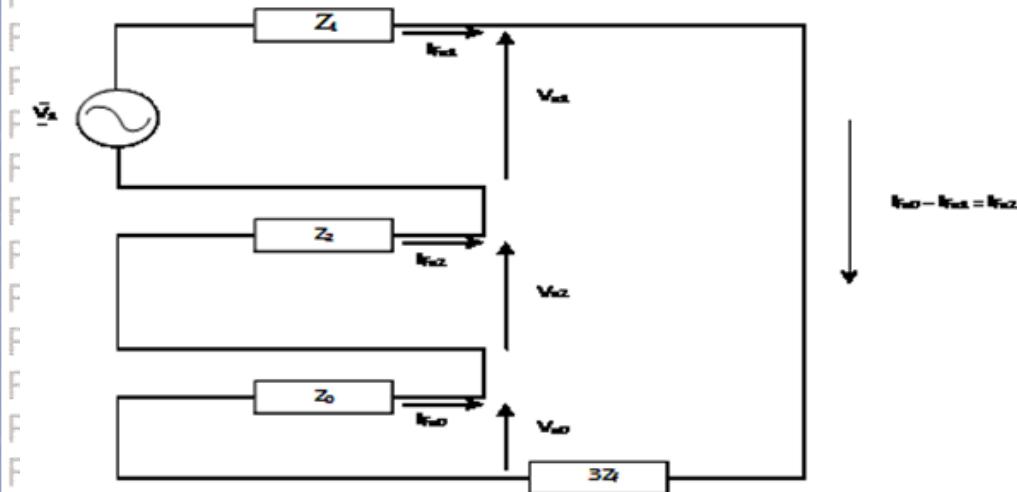
Repository Universitas Brawijaya  

$$\begin{bmatrix} I_{fa0} \\ I_{fa1} \\ I_{fa2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$
  
 Repository Universitas Brawijaya  

$$I_{fa0} = I_{fa1} = I_{fa2} = \frac{I_{fa}}{3}$$
  
 Repository Universitas Brawijaya  

$$I_{fa} = 3I_{fa0}$$
  
 Repository Universitas Brawijaya  
 Sehingga  $V_{ka} = Z_f I_{fa} = 3Z_f I_{fa0}$

Rangkaian ekivalen Thevenin dari gambar 2.5, ditunjukkan pada gambar 2.10



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen ganguan hubung singkat satu fasa ke ground (Stevenson, 1996)

Dari rangkaian ekivalen Thevenin Gambar 2.5 diperoleh persamaan :

$$V_{a0} = -Z_0 I_{fa0}$$

$$V_{a1} = V_f - Z_1 I_{fa1} = V_f - Z_1 I_{fa0}$$

$$V_{a2} = -Z_2 I_{fa2} = -Z_2 I_{fa0}$$

Peningkatan tegangan diperoleh :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$V_a = V_f - (Z_0 + Z_1 + Z_2) I_{fa0}$$

$$3Z_f I_{fa0} = V_f - (Z_0 + Z_1 + Z_2) I_{fa0}$$

$$V_f = -(Z_0 + Z_1 + Z_2 + 3Z_f) I_{fa0}$$

Reservasi arus gangguan :

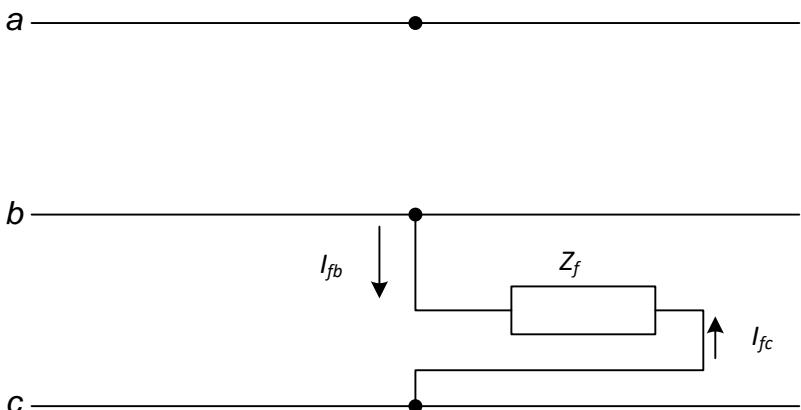
$$I_{fa0} = \frac{Vf}{Z0 + Z1 + Z2 + 3Zf}$$

Repository

dengan :  
Repository Universitas Brawijaya

### 3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa

Bila fasa dengan fasa saling bersentuhan maka terjadi hubung singkat dan disebut dengan gangguan hubung singkat 2 fasa yang ditunjukkan oleh gambar 2.6.



Gambar 2.13 Gangguan hubung singkat 2 fasa (Steveson, 1996)

Pada saat terjadi gangguan, maka dapat ditulis persamaan sebagai berikut:

$$I_{fa} = 0$$

$$I_{fb} = -I_{fc}$$

$$V_b - V_c = Z_f I_{fb}$$

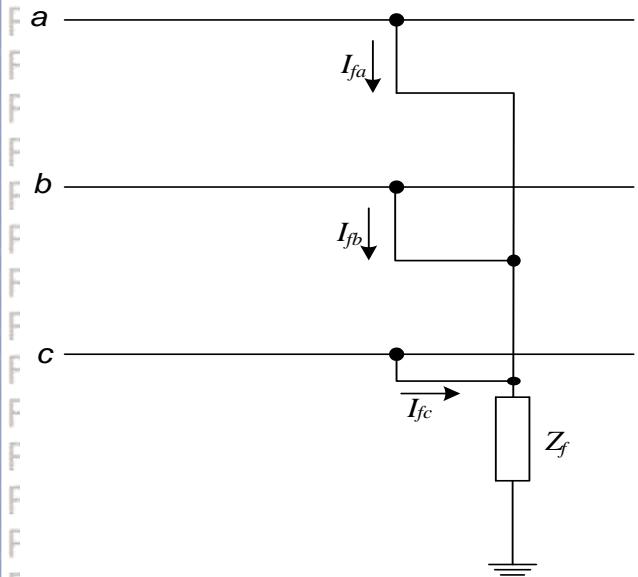
Dengan  $I_{fa} = 0$  dan  $I_{fb} = -I_{fc}$ , maka diperoleh komponen simetris arus :

$$\begin{bmatrix} I_{fa0} \\ I_{fa1} \\ I_{fa2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fb} \\ I_{fb} \\ -I_{fb} \end{bmatrix}$$

$$I_{fb} = 0$$

#### 4. Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa ke Ground

Dalam sistem ketenaga listrikan jika ketiga fasa saling bersentuhan dengan tanah baik disengaja maupun tidak disengaja dan menyebabkan gangguan pada sistem disebut dengan gangguan hubung singkat dan ditunjukkan oleh gambar 2.6.



Gambar 2.14 Gangguan hubung singkat 3 fasa (Stevenson,1996)

Ketika terjadi gangguan, maka :

$$V_{ao} = -Z_f I_{fa0} = 0 = 0$$

$$V_{al} = V_f - Z_f I_{fal} = 0$$

$$V_{a2} = -Z_f I_{fa2} = 0$$

Pada komponen seimbang tidak urutan negatinya sehingga komponen urutan positif. Yaitu:

$$V_{al} = V_f - Z_f I_{fal} = 0$$

$$V_f = Z_f I_{fal}$$

Sehingga besarnya arus gangguan :

$$I_{fal} = \frac{V_f}{Z_f}$$

dengan ;

$$I_{fal} = \text{Gangguan arus tiga fasa ke ground}$$

$$V_f = \text{Tegangan sesaat sebelum terjadinya gangguan}$$

$$Z_f = \text{Impendansi gangguan}$$

(2.35)

## 2.7 Keandalan Sistem Distribusi

Upaya untuk meningkatkan kualitas jaringan ada beberapa faktor salah satunya dengan meningkatkan nilai indeks keandalan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) dan *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI).

Dalam upaya tersebut maka perlu mengetahui banyaknya jumlah komponen peralatan distribusi tersebut yang berpengaruh terhadap nilai indeks keandalan. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai indeks keandalan tersebut antara lain jumlah komponen, lamanya gangguan waktu pemadaman, total waktu selama gangguan dan umur dari peralatan komponen tersebut.

## 2.8 Parameter Keandalan

Indeks keandalan didefinisikan sebagai besaran yang bertujuan membandingkan sistem distribusi. Pada umumnya dua persamaan indeks yang biasa digunakan indeks frekuensi padam rata-rata ( $f$ ) serta indeks durasi padam rata-rata ( $d$ ) (SPLN 59, 1985).

Parameter-parameter yang menentukan keandalan sistem tenaga listrik menurut Billinton, at all;

### a. Laju Kegagalan

Nilai rata-rata dari total dalam satuan waktu selang pengamatan ( $T$ ) disebut dengan laju kegagalan dan satuan nya kegagalan pertahun dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{N}{T} \quad (2.36)$$

dimana ;

$\lambda$  = Nilai kegagalan dalam satuan tahun

$N$  = Total kegagalan dalam satuan waktu ( $T$ )

$T$  = Interval waktu pemantauan (tahun)

Sedangkan untuk menentukan lama gangguan atau ketidak tersedian tahuna rata-rata ( $U$ ) merupakan jumlah lama gangguan persatuan waktu pada selang waktu pengamatan ( $T$ ), sehingga menjadi persamaan :

$$U = \frac{\Sigma t}{T} \quad (2.37)$$

Dimana ;

$t$  = Lama gangguan (jam)

$T$  = Selang waktu pengamatan (tahun)

### b. Indeks keandalan dari sisi gangguan pelanggan

Metode untuk mengevaluasi nilai indeks keandalan suatu sistem distribusi tenaga

listrik terhadap mutu jaringan pelayanan ke pada konsumen disebut dengan indeks keandalan dan indeks yang digunakan adalah SAIFI dan SAIDI.

Perhitungan tersebut dapat dipakai untuk mengetahui *index* per bulan atau per tahun.

#### a. System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)

SAIDI di artikan sebagai rata-rata total kegagalan terjadi pada sisi pelanggan

dilayani sistem dalam satuan waktu (tahun) dan indeks SAIFI di tentukan oleh jumlah total kegagalan dalam satuan tahun terhadap konsumen yang dilayani.

$$\text{SAIFI} = \frac{\text{Jumlah konsumen yang mengalami gangguan}}{\text{Jumlah hari konsumen yang dilayani}}$$

Indeks SAIFI menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum \lambda k M_k}{M} \quad (2.38)$$

Dimana;

$\lambda k$  = Kecepatan gagal suatu komponen (kegagalan/tahun)

$M_k$  = Total beban di titik pelanggan k (pelanggan)

$M$  = Total jumlah beban pada sistem (pelanggan)

#### b. System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

Persamaan ini di maknai seperti nilai rata-rata durasi kegagalan sistem pada

konsumen dalam satuan waktu tahun.

$$\text{SAIDI} = \frac{\text{Jumlah waktu gangguan dari setiap konsumen}}{\text{Jumlah hari konsumen yang dilayani}}$$

SAIDI di bagi dalam jumlah dari total durasi kegagalan kontinu untuk seluruh

konsumen dalam periode waktu tertentu dengan total konsumen yang dilayani dalam satuan waktu tahun dan persamannya di berikan sebagai berikut:

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum U_k M_k}{M} \quad (2.39)$$

Dimana ;

$U_k$  = Ketidak tersediaan peralatan (persen/year)

$M_k$  = Total beban di titik beban k (konsumen)

$M$  = Total penjumlahan beban dalam satu mode (konsumen)

c. Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI)

Indeks ini menghitung nilai gangguan pada sisi pelanggan dalam nilai

rata-rata setiap tahunnya. Memberi informasi perihal durasi rata-rata penormalan

Universitas Brawijaya - Repository Universitas Brawijaya

Universitas Brawijaya Repository Universitas Brawijaya

Dengan persamaan yang diberikan:

CAIDI = SAIDI/SAIFI      Repository Universitas Brawijaya (2.40)

CAIDI = Nilai indeks periode gangguan pada konsumen rata-rata satu tahun

SAIDI = Rata-rata nilai durasi kegagalan setiap pelanggan dalam satuan

Universitas Brawijaya Repository Universitas Brawijaya

Universitas Brawijaya Repository Universitas Brawijaya

SAIFI = Banyaknya kegagalan rata-rata terjadi setiap konsumen yang

dilayani dalam satu tahun

itungan indeks keandalan suatu sistem harus memiliki acuan nilai suatu

Dalam perhitungan indeks keandalan suatu sistem harus memiliki acuan nilai suatu peralatan indeks kegagalan distribusi. Ada pun nilai indeks tersebut di berikan tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Data Index kegagalan peralatan distribusi**

No	Komponen	Laju Kegagalan	r (waktu pemadaman)	rs ( waktu pemindahan)
1	Saluran udara	0,02/km/tahun	3	0,15
2	Trafo distribusi	0,005/unit/tahun	10	0,15
3	Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun	10	0,15
4	Kabel saluran bawah tanah	0,07/km/tahun	15	5
5	<i>Sectionalizer</i>	0,003/unit/tahun	10	0,15
6	<i>Recloser</i>	0,003/unit/tahun	10	0,15
7	CB	0,003/unit/tahun	10	0,15
8	Sakral beban	0,003/unit/tahun	10	0,15
10	Penyambung kabel	0,001/unit/tahun	15	0,15
11	Pelindung Jaringan	0,005/unit/tahun	10	0,15
12	Rel Tegangan Rendah	0,001/unit/tahun	10	0,15

Sumber: SPI N No 59 1985

Data pada tabel 2.1 berdasarkan SPLN No.59 1985 peraturan PLN tentang indeks keandalan peralatan sistem distribusi 6 kilo volt sampai 20 kilo volt, dan berlaku umum di seluruh Indonesia. Pada tabel diatas terdapat beberapa istilah sebagai berikut:

a) Frekuensi kegagalan atau *failure rate* adalah frekuensi gangguan suatu saluran mengalami kegagalan tiap unitnya dalam jangka waktu satu tahun.

## 2.9 Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Pemutus tenaga atau sering juga disebut *Circuit Breaker* (CB) merupakan suatu peralatan distribusi yang berguna untuk pemutus dan penyambung baik dalam kondisi lazim atau gangguan.

Ketentuan yang diberikan untuk pemutus tenaga sebagai berikut:

1. Mampu di aliri arus beban penuh dalam waktu lama.
2. Merespon dengan cepat bila terjadi SC pada sistem (*over load*)
3. Memutuskan beban bila terjadi lonjakan arus
4. Gap tahan terhadapan tegangan rangkaian bila terjadi gangguan/membuka
5. Bertahan dialiri arus SC dalam jangka waktu tertentu

Pemutus tenaga pada sistem tenaga listrik terpasang pada GI kabel masukan ke busbar tegangan menengah *incoming cuble* atau pada setiap rel/busbar out menuju penyulang.

## 2.10 Fuse

*Fuse* pada dasarnya terdiri dari unsur logam yang meleleh ketika berlebihan arus mengalir melalui itu. Besarnya arus yang berlebihan akan bervariasi berbanding terbalik dengan durasi. Waktu karakteristik saat ini tidak hanya ditentukan oleh jenis logam yang digunakan dan dimensi (termasuk konfigurasi), tetapi juga pada jenis lingkup dan dudukan yang terakhir tidak hanya mempengaruhi waktu leleh, tetapi, di samping itu, mempengaruhi waktu busur menghapus. Waktu pembersihan dari sekering, maka, adalah jumlah waktu dan busur menghapus waktu mencair (Panšini 1988).

Pada trafo distribusi terdapat peralatan listrik yang disebut *Fuse Cut Out* (FCO) pada asasnya terdiri dari atas sepotong atau elemen logam yang akan melebur jika arus mengalir melampaui batas tertentu sesuai ketentuan. Besar nilai arus listrik yang akan mengakibatkan

b) Waktu pemadaman atau *repair time* ialah periode waktu terjadinya kegagalan saluran udara/peralatan mencakupi peralatan sampai keadaan normal kembali. Peralatan yang mengalami gangguan diperbaiki atau diganti terlebih dahulu.

c) Waktu pemindahan atau *switchingtime* yaitu durasi waktu dibutuh dalam perbaikan/menemukan gangguan dan mengisolir gangguan tersebut kemudian memasukan kembali sistem dengan *sectionalizer*.



Gambar 2.15 Fuse Cut Out (FCO) PT. PLN

### 2.11 Recloser (RC)

Pada sistem ketenaga listrikan umumnya gangguan terjadi pada sistem distribusi dan transmisi, gaangguan tersebut berupa sementara(temporer). Dalam hal ini penyebabnya disebabkan oleh alam seperti pohon tumbang atau ranting yang menyentuh saluran udara.

*Reclosers* dirancang akan membuka ketika kesalahan terjadi pada bagian utama di mana mereka terhubung; perangkat waktu, bagaimanapun, memungkinkan mereka untuk *recloser* jumlah yang telah ditetapkan waktu untuk jangka waktu singkat. Jika kesalahan bersifat sementara, seperti kabel bergoyang bersama-sama atau dahan pohon jatuh pada mereka, *recloser* akan tetap ditutup dan layanan akan dikembalikan; harus kesalahan bertahan, *recloser* akan tetap terbuka dan lepaskan bagian dari utama dari rangkaian. ( Anthony J. Pansini 1988)



Gambar 2.16 Bentuk fisik recloser dan penempatan Recloser pada jaringan distribusi PT. PLN

## 2.12 Sectionalizer (Sakral Seksi Otomatis)

Pada sistem tenaga listrik ada sebuah komponen peralatan listrik yang cara kerjanya memisah-misah antara jaringan utama berfungsi sebagai pemutus rangkaian dan sebagian seksi bekerja secara otomatis sehingga saat berlangsungnya gangguan bersifat permanen mencakup area yang besar mampu membatasi dampak pemadaman melingkupi daerah yang sempit.

Alat yang melindungi terhadap arus gangguan lebih dipasang bersama-sama dengan alat proteksi lainnya berfungsi sebagai cadangan disebut *sectionalizer* dan mampu menghitung jumlah operasi dari sisi hulu dan membuka pada waktu yang tepat di saat terjadinya gangguan.

Cara kerja dari *sectionalizer* menggabungkan antara pemutus tegangan di kombinasi relay arus lebih pada bagian hulu (awal) saat jaringan out dari penyulang dan terhubung dengan *sectionalizer* terkoneksi dengan *recloser* sebagai back-up pengaman. Pengaman model ini bekerja pada saat terjadi gangguan, di mana pemutus balik otomatis bekerja secara otomatis dan *sectionalizer* menghitung berapa kali *recloser* melakukan seksi otomatisnya pada saat *recloser* bekerja penuh (tiga klai periode) yang telah ditentukan maka *sectionalizer* akan merespon memberi sinyal pada PMT untuk mencut tegangan secara permanen dan gangguan tersebut secepat mungkin diperbaiki oleh petugas agar pelayanan pada konsumen tetap terjaga.

*Sectionalizer* dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Penginderaan: berdasarkan tegangan (*Automatic Vacuum Switch*) atau dengan arus (SSO).
2. Media pemutus: Minyak, Vacum dan Gas SF6
3. Control: *Hidraulik* atau *Elettronik*
4. Phase: Fasa tunggal atau Fasa tiga

## 2.13 Metode Section Technique (ST)

Metode *Section Technique* (ST) merupakan sebuah metode untuk menghitung indeks kegagalan peralatan dengan cara me evaluasi memecah sistem kedalam bagian zona (*section*), maka dalam perhitungannya minim terjadi error dan membutuhkan waktu cepat.

Metode ST dianggap kegagalan suatu peralatan tidak saling berkaitan dan di hitung secara terpisah (di caca). Bila kegagalan terkait maka kalkulasi keandalannya menjadi rumit, maka pnyederhanaan kalkulasi diatas diasumsikan tidak saling berkaitan satu sama lainnya.

Metode ST merupakan sebuah metode yang terstruktur dalam menganalisis sebuah sistem distribusi. Untuk menghitung nilai indeks keandalan pada sistem distribusi berdasarkan kagalan peralatan yang terdampak pada operasinya. Dampak dari gangguan individu peralatan didefinisikan menggunakan analisi jika gangguan tersebut terjadi. Selanjutnya pada setiap *section* kegagalan perlantakan di analisis untuk semua titik beban. Dan nilai indeks keandalan di jumlahkan setiap *section* pada semua titik beban secara total.

Pada tesis ini menggunakan metode ST untuk menhitung nilai indeks keandalan Penyulang Pujon dengan jumlah *section* VIII buah dan 4 skenario. Hasil dari perhitungan setiap *section* di masukan kedalam tabel.

## 2.14 Particle swarm optimization (PSO)

Algoritma metode PSO dikenalkan oleh Kennedy dkk pada tahun 1995, tahapan algoritma melihat dari prilaku social kawanannya binatang seperti sekelompok kawan burung dalam suatu *swarm*.

*Particle Swarm Optimization* merupakan suatu cara *evolusioner*, dalam praktiknya populasi awal didasarkan pencarian algoritma dan dimulai dengan suatu populasi acak (partikel). Perbedaan dengan metode lain pada metode PSO masing-masing partikel berkorelasi terhadap *velocity*. *Particle-particle* ini beroperasi menggunakan pelacakan bagian *velocity* yang dinamis menyesuaikan perilaku historisnya.

Jadi, *particle-particle* yang mempunyai kecendrungan untuk bergerak pada daerah pelacakan yang baik sesudah tahapan pelacakan. Metode PSO memiliki kemiripan serupa *Genetic Algorithm* (GA) yang dimulai pada suatu populasi acak dalam mode matriks. Namun pada metode PSO tahapan *crossover* dan mutasi tidak dibutuhkan seperti pada GA. Deret matriks pada PSO disebut *particle* sedangkan dalam GA kromosom yang diberi suatu variabel nilai. Seperti partikel yang bergerak letaknya ke posisi awal yang baik dengan *velocity*.

Pada tesis ini menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* digunakan untuk optimasi relokasi *recloser* peningkatan keandalan sistem distribusi karena injeksi pembangkit tersebar pada sistem Penyulang Pujon. Hasil dari metode PSO di komparasi bersama metode ST.

### 3.1 KerangkaBerpikir

Padakonsepkeリストikan,

bersentuhanlangsungpadasisikonsumenmerupakansistemdistribusi.

Sistemdistribusimempunyaialsuranlebihpanjangdarisoluransididanjumlahgangguannya

paling banyak

Dalamupayamengatasidandanmenurunkanjumlahgangguanterjaditerhadapsistemdat

lakukandengancaramengaturstrategidanpenempatansistemkoordinasifuse-

*recloser*karenaadanya pembangkittersebar.

Denganadanyainjeksi pemberitahuanjumlahgangguanterserba padasistemakanmenambahkomponenperalatan danmena

mbahnilaiindekskeandalan.

Untukmenjalankananalisisaliranapadasistemdistribusimenggunakan ETAP.

Menjalankan pemodelansistemuntukmengetahuialirandaya, selanjutnya dilakukan simulasi *short circuit*.

Tahapberikutnya dilakukan penginjeksi DG dansimulasi pembangkit

barupadasistemdistribusi. Selanjutnya dilakukan simulasi *short circuit* agar besarnyaarus yang

mengalirpadasistemdistribusidapat diketahui.

*recloser*denganmenggunakan metode

padasistemdistribusigarduIndukSengkalingpenyulangPujon.

### 3.2 VariabelPenelitian

Padapenelitianini menggunakan

“StrategiPenempatanSistemKoordinasifuse-*recloser*KarenaAdanyaPembangkitTersebar”

padasistemdistribusiadalahrelokasi fuse-*recloser*menggunakan

untukmeningkatkankeandalanPenyulangPujon.

### 3.3 Hipotesis

Berdasarkanpermasalahandiatasdapatdiambilhipotesissebagai berikut:

Dalam mendesainsistem proteksi perlu dilakukan analisis relokasi fuse-

*recloser*denganmetodeuntukmeningkatkan sistem proteksi yang bermamfaat mengisolir gangguan

## BAB III

### KERANGKA TEORI PENELITIAN

yang

pula.

di

ETAP.

PSO

PSO

PSO

karena adanya pembangkit tersebar, mengamankan manusia dan peralatan listrik dari kerusakan yang diakibatkan darigangguan (kondisi abnormal operasi sistem) dan realibilitas pada sistem distribusi.

## BAB IV

## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dalam tahap menyelesaikan rumusan dan mengimplementasikan terhadap tujuan dari penelitian terutama pada BAB awal, maka perlu sebuah cara untuk penyelesaian masalah tersebut. Tahapan yang dijalankan pada penelitian ini sebagai berikut.

## **4.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

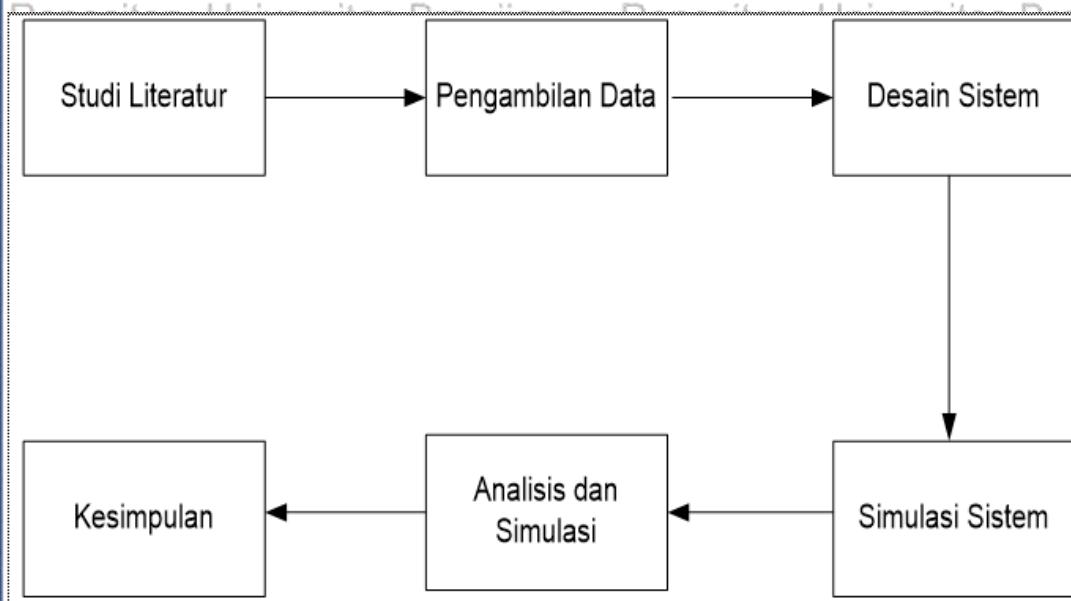
Pada penulisan ini, penelitian dilakukan di PT. PLN Malang provinsi Jawa Timur. Data yang diperlukan yaitu data pembangkit, jumlah dan jenis gangguan dalam sat tahun dan letak Fuse serta Recloser pada jaringan distribusi pada Area Pelayanan PLN APP Malang.

Pengumpulan data dilakukan dari bulan September sampai November 2018 agar penelitian ini mendapatkan data yang lengkap.

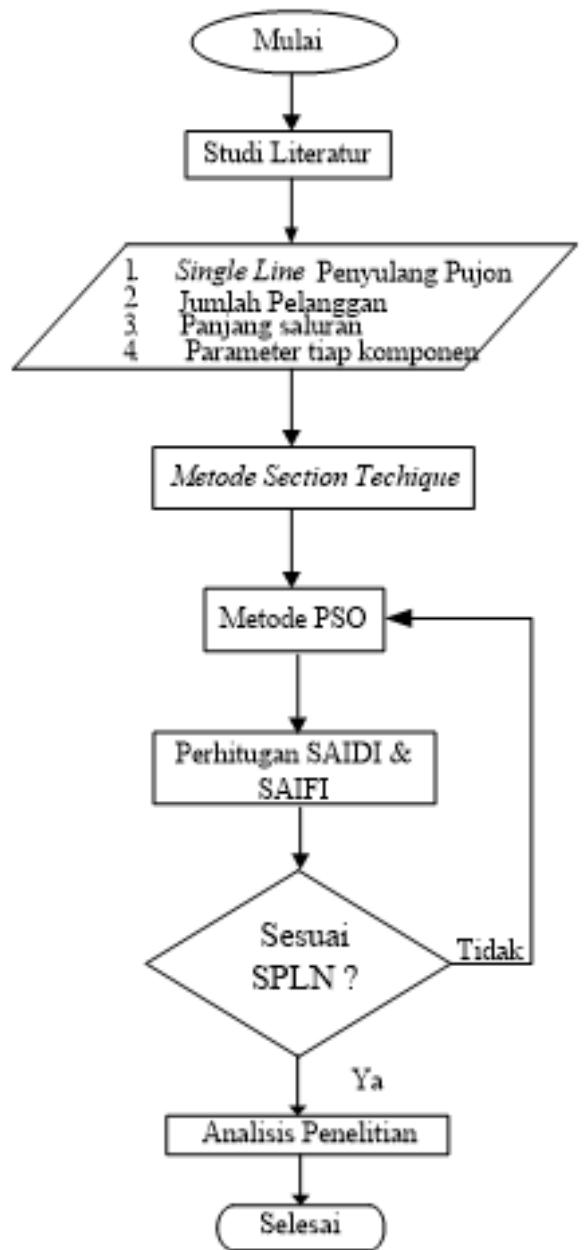
## 4.2 Tahap Penelitian

Tahapan pada riset ini dimulai dengan tahapan: (1) Studi Literatur, (2) Pengambilan data pebelitian, (3) Desin sistem, (4) Simulasi sistem, (5) Analisis dan simulasi dan (6) Kesimpulan.

Untuk lebih jelas di tunjukan oleh gambar 4.1



#### Gambar 4.1 Tahapan penelitian



Gambar 4.2 Aliran diagram metode penelitian

#### 4.3 Pengambilan Data

Data yang di ambil dari tahapan ini adalah data eksisting dari Penyulang Pujon meliputi dari data:

1. Data beban dan kapasitas Penyulang Pujon
2. Data jumlah pelanggan Penyulang Pujon
3. Data saluran Penyulang Pujon

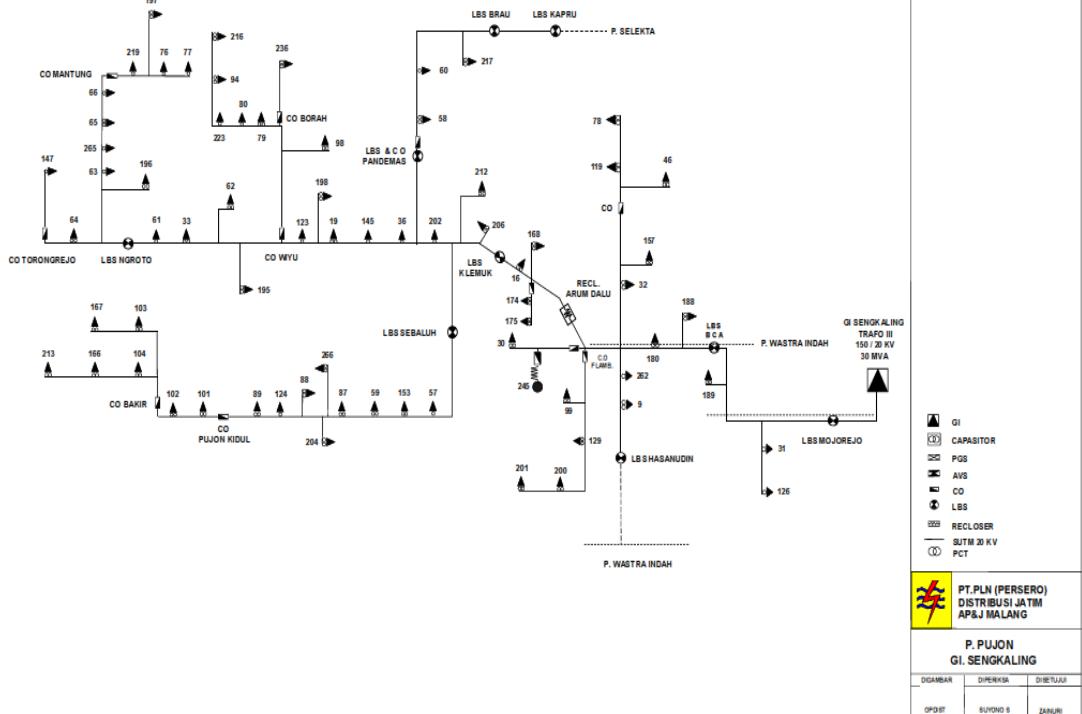
Repository Universitas Brawijaya  
4. Data PV dan WPP

#### 1. Data beban dan kapasitas Penyulang Pujon

Gardu Induk Sengkaling mempunyai dua sel yang masing-masing dipasang trafo 150/20 kV berkapasitas 30 MVA dan 60 MVA. Penyulang Pujon adalah salah satu Penyulang di GI Sengkaling. Penyulang Pujon disuplai dari trafo 150/20 kV 30 MVA dengan kapasitas beban terpasang 300 Ampere. Gardu distribusi 20/0,38 kV yang terpasang pada Penyulang Pujon terpasang Gardu Induk sebanyak 71 unit masing-masing berkapasitas antara 25 kVA hingga 250 kVA. Data kapasitas daya terpasang baik beban maksimum dan minimum pada gardu distribusi di Penyulang Pujon dapat dilihat pada table 5 dengan total beban minimum sebesar 1390,6 kVA dan total beban maksimum sebesar 4890,7 kVA.

Saluran distribusi yang ada di Penyulang Pujon menggunakan Saluran Udara Tengangan Menengah (SUTM). Jenis saluran yang digunakan adalah kabel AAAC (*All Alumunium Alloy Conductor*) dengan berbagai ukuran. Pada saluran distribusi Penyulang Pujon mempunyai panjang 59,65 km dan terdiri dari 117 bus.

*Single line diagram* saluran distribusi Penyulang Pujon di tunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Single Line* diagram Penyulang Pujon

Sumber: PT. APJ PLN Malang, (2015)

## 2. Data jumlah pelanggan Penyulang Pujon

Sistem Penyulang Pujon terdiri 117 bus dengan total panjang saluran 59,65 km, panjang antar bus terpanjang sejauh 7,112 km dan terpendek 0,016 km, terdiri dari 78 titik beban dengan total pelanggan mencapai 21024. Jarak penghantar terpanjang adalah jarak penghantar dari GI ke bus-1 dan terpendek adalah dari bus-91 ke bus-92. Panjang dan pendeknya penghantar akan mempengaruhi aliran daya pada saluran penghantar, semakin panjang penghantar maka nilai resistansi dan reaktansinya semakin besar begitu juga sebaliknya.

## 3. Data saluran Penyulang Pujon

Sistem distribusi Penyulang Pujon menggunakan sistem radial. Data eksisting Penyulang Pujon menunjukkan bahwa total kapasitas daya terpasang asalah sebesar 8,96 MVA dengan total beban maksimum sebesar 4,89 MVA dan total beban minimum sebesar 1,39 MVA. Dengan kata lain bahwa prosentase total beban maksimum sebesar 54,58% dan total beban minimum sebesar 15,52% dari kapasitas total daya terpasang. Secara umum beban maksimum di Penyulang Pujon terjadi pada malam hari dan beban minimum terjadi pada siang hari.

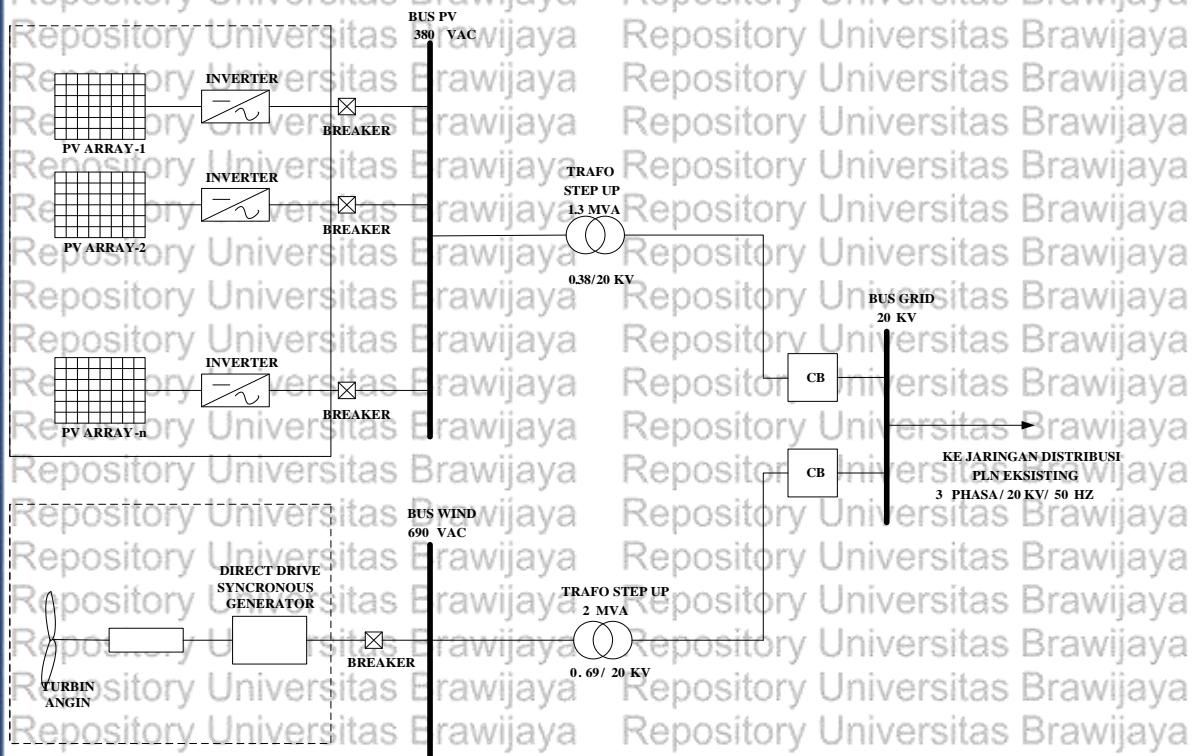
Data saluran Penyulang Pujon GI Sengkaling yang didapat dari PT. PLN APJ Malang Raya berupa data digital yang menginformasikan lokasi dan letak tiang, trafo *step down* 20/0,38 kV.

Sistem Penyulang Pujon terdiri 117 bus dengan total panjang saluran 59,65 km, panjang antar bus terpanjang sejauh 7,112 km dan terpendek 0,016 km. Jarak penghantar terpanjang adalah jarak penghantar dari GI ke bus-1 dan terpendek adalah dari bus-91 ke bus-92. Panjang dan pendeknya penghantar akan mempengaruhi aliran daya pada saluran penghantar, semakin panjang penghantar maka nilai resistansi dan reaktansinya semakin besar begitu juga sebaliknya.

## 4. Data PV dan WPP

Sistem *Distributed Generation* (DG) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sistem pembangkit tersebar yaitu pembangkit yang memiliki dua atau lebih pembangkit yang digabungkan. Pembangkit yang digunakan adalah *Photovoltaic* dan *Wind Power Plant* yang keduanya digabungkan (*hybrid*) menjadi satu sumber pembangkit tenaga listrik dan injeksi ke sistem distribusi Penyulang Pujon.

Kapasitas daya yang dibangkitkan oleh sistem *hybrid* disesuaikan dengan ketersedian sumber energi yang ada di daerah Pujon. Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya berkapasitas 1,3 MVA dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin berkapasitas 2 MVA. Kapasitas masing-masing pembangkit ini desesuaikan dengan potensi sumber daya alam berdasarkan pengukuran.



Gambar 4.4 Desain pembangkit *hybrid* PV-WPP

Sumber: Hakim, (2015)

Tabel 4.1 Kapasitas DG pada Penyulang Pujon

DG	Rating DG MVA
Photovoltaic (PV)	1,3 MVA
Wind Power Plan (WPP)	2 MVA

#### 4.4 Perancangan Sistem

Sistem dalam penelitian ini dibangun dalam 4 skenario simulasi.

1. Simulasi sistem eksisting Penyulang Pujon 20 kV

Pada skenarion ini sistem eksisting penyulang pujon 20 kV disimulasikan. Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis didapatkan *losses* Penyulang Pujon sebesar 200,1 kW dan -1335,9 kVAR.

## 2. Simulasi sistem injeksi dengan PV

Pada penelitian ini sistem PV didesain sebesar 1,3 MVA dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 380 VAC. Besarnya daya tersebut didasarkan dengan potensi sumber daya alam dan hasil pengukuran radiasi rata-rata sinar matahari. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari sistem PV kemudian akan dinaikkan menjadi 20 kV dengan menggunakan transformator 0,38/20 kV. Akan tetapi karena tegangan keluaran pada sistem PV berupa tegangan DC maka dibutuhkan inverter untuk merubah tegangan keluaran 380 VDC menjadi 380 VAC.

## 3. Simulasi sistem injeksi dengan WPP

Pada penelitian ini Pembangkit Tenaga Angin (*Wind Power Plan*) sistem didesain dengan kapasitas 2 MVA. Dengan mempertimbangkan lokasi dari sistem WPP serta data-data pengukuran dilapangan maka sistem WPP menggunakan tegangan 690 VAC. Pembangkit ini didesain sesuai dengan kecepatan angin sebesar 2,9 m/s. Turbin angin yang dipilih yaitu turbin angin horizontal yang mampu digunakan pada kecepatan angin rendah dapat menghasilkan daya listrik yang tinggi.

## 4. Simulasi sistem injeksi dengan PV dan WPP.

Skenario ini mendesain injeksi antara tiga sistem yang ada yaitu sistem PV dan WPP dihubungkan dengan sistem eksisting. Desain injeksi antara ke tiga sumber ini bisa dilakukan dilokasi yang berdekatan dengan letak geografis pembangkit Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dan daerah yang membutuhkan tambahan tenaga listrik.

Sistem ini didesain dengan menijeksikan PV dan WPP sistem secara bersama-sama. Sistem ini menghasilkan banyak permasalahan antara lain drop tegangan disisi bus 67 dan bus yang terhubung satu line dengan bus 67 dan nilai *lossessebesar* 220 kW dan -1308,6 kVAR rugi daya akibat injeksi pada bus 67.

## 4.5 Metode Section Technique

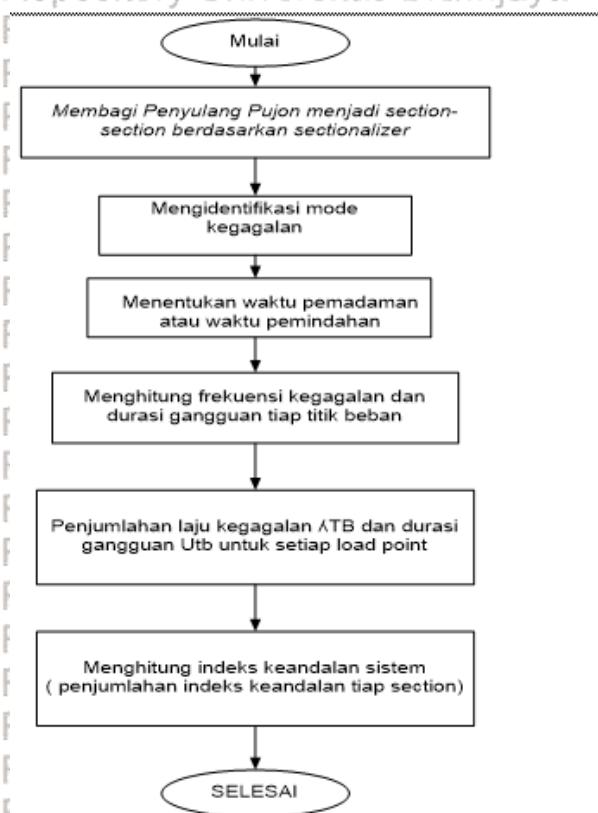
Metode *Section Technique* (ST) menggambarkan sebuah proses untuk menghitung indeks kegagalan perlantau dengan cara me evaluasi memecah sistem kedalam bagian sedikit (*section*),

sehingga kemungkinan terjadi kesalahan perhitungan minim terjadi dan membutuhkan waktu yang singkat.

Metode ST dianggap kegagalan suatu peralatan tidak saling berkaitan dan di hitung secara terpisah (di cakah). Bila peralatan mengalami gangguan dan saling terkait maka perhitungan keandalannya menjadi lebih kompleks, maka pnyederhanaan kalkulasi diatas diasumsikan tidak saling berkaitan satu sama lainnya.

Metode ST merupakan sebuah metode yang terstruktur dalam menganalisis sebuah sistem distribusi. Untuk menghitung nilai indeks keandalan pada sistem distribusi berdasarkan kagagalan peralatan yang terdampak pada operasinya. Dampak dari gangguan individu peralatan didefinisikan menggunakan analisi jika gangguan tersebut terjadi. Selanjutnya pada setiap *section* kegagalan perlatan di analisis untuk semua titik beban. Dan nilai indeks keandalan di jumlahkan setiap *section* pada semua titik beban secara total.

#### *Flowchart* motode ST



Gambar 4.5 *Flowchart* motode ST

Langkah-langkah penggeraan metode *section technique* adalah sebagai berikut:

1. Membagi suatu topologi jaringan yang berupa *single line diagram* menjadi *section-section* berdasarkan jumlah *sectionalizer*.
2. Memasukan informasi panjang saluran *section*, data total konsumen setiap load point beban dan data keandalan.
2. Mengevaluasi suatu mode kegagalan.
3. Mendaftarkan semua mode kegagalan pada *section technique worksheet*.
4. Mengevaluasi waktu pemadaman dan waktu pemindahan.
5. Menghitung frekuensi kegagalan dan durasi gangguan terhadap tiap titik beban.
6. Mengalikan frekuensi kegagalan  $\lambda TB$  dan durasi UTB pada setiap load point beban total pelanggan setiap titik beban selanjutnya membaginya dengan jumlah total pelanggan satu sistem.
7. Mengevaluasi indeks keandalan setiap *section* dengan menjumlahkan indeks keandalan setiap titik beban.
8. Mengevaluasi indeks keandalan sistem dengan menjumlahkan indeks keandalan setiap *section*.

#### 4.6 Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Metodo *Particle Swarm Optimization* merupakan suatu cara *evolusioner*, dalam prakteknya populasi awal didasarkan pencarian algoritma dan dimulai dengan suatu populasi acak (partikel). Perbedaan dengan metode lain pada metode PSO masing-masing partikel berkorelasi terhadap *velocity*. *Particle-particle* ini beroperasi menggunakan pelacakan bagian *velocity* yang dinamis menyesuaikan perilaku historisnya.

Jadi, *particle-particle* yang mempunyai kecendrungan untuk bergerak pada daerah pelacakan yang baik sesudah tahapan pelacakan. Metode PSO memiliki kemiripan serupa *Genetic Algorithem* (GA) yang dimulai pada suatu populasi acak dalam mode matriks. Namun pada metode PSO tahapan *crossover* dan mutasi tidak dibutuhkan seperti pada GA. Deret matriks pada PSO disebut *particle* sedangkan dalam GA kromoson yang diberi suatu variabel nilai. Seperti partikel yang bergerak letaknya ke posisi awal yang baik dengan *velocity*.

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang standar ditemukan melalui simulasi model kehidupan sosial binatang yang disederhanakan berhubungan dengan *bird flocking*, *fishig schooling* dan teori *swarm*.

Persamaan yang digunakan dalam algoritma PSO adalah:

$$V_{id} = V_{id} + C_1 rand_1 x (P_{id} - X_{id}) + C_2 rand_2 x (P_{g_d} - X_{id})$$

$$X_{id} = X_{id} + V_{id}$$

Dimana :

$C_1$  dan  $C_2$  = koefisien akselerasi

$rand_1$  +  $rand_2$  = bilangan random antara (0-1)

$X_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD})$  direpresentasikan sebagai posisi awal partikel ke  $i$

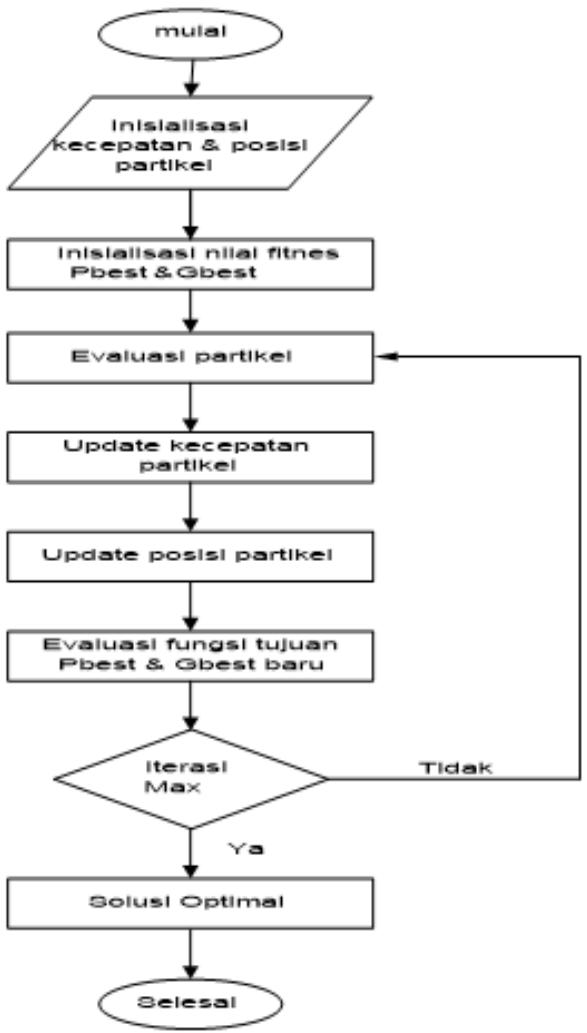
$P_i = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{iD})$  direpresentasikan sebagai posisi awal pada partikel  $i$  (posisi yang memberi nilai *fitness* terbaik), simbol  $g$  merepresentasikan sebagai index dari partikel terbaik diantara semua partikel dalam suatu populasi.

$V_i = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{iD})$  direpresentasikan sebagai perubahan posisi (*velocity*) dari partikel  $i$ .

Pada persamaan diatas menggambarkan persamaan lintasan pergerakan dari suatu partikel pada suatu populasi. Persamaan (2.41) menggambarkan bagaimana *velocity* itu diupdate secara dinamis, Persamaan (2.42) update posisi dari pergerakan partikel – partikel menggunakan *velocity*.

Untuk mencegah divergensi di dalam algoritma PSO standar, *velocity* partikel dikendalikan dengan *velocity* maksimum  $V_{max}$ . Jika *velocity* melewati  $V_{max}$  di dalam setiap koordinat maka *velocity* itu akan terpotong pada nilai tersebut sehingga  $V_{max}$  menjadidi suatu parameter yang penting dalam PSO. Jika  $V_{max}$  terlalu besar, partikel tersebut dapat bergerak cepat untuk mendapatkan solusi yang baik. Jika  $V_{max}$  terlalu kecil, partikel – partikel tersebut menjelajah secara pelan – pelan dan tidak dapat menemukan solusi yang baik sehingga partikel – partikel tersebut bias terjebak di dalam local optimum karena tidak mampu untuk berpindah dari atraksi cekungan.

Konsep dasar PSO terletak dalam mempercepat setiap partikel kearah  $P_{best}$  dan lokasi  $G_{best}$ , dengan bobot akselerasi acak pada setiap langkah. Berikut *flowchart* PSO terlihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Flowchart PSO

Tahapan-tahapan prosedur dari metode PSO pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tentukan ukuran *swarm* (jumlah section) dan menetukan poin awal letak kecepatan partikel secara acak.
2. Menguji poin fungsi tujuan partikel (SAIDI dan SAIFI)
3. Mula-mula tentukan *Pbest* (SAIDI) dan *Gbest* (SAIFI)
4. Mengukur laju iterasi tahapan selanjutnya dengan persamaan  
$$x=\text{int}((\text{batas_atas}-\text{batas_bawah}).*\text{rand}(\text{jumlah_particle},D)...\\ +\text{repmat}(\text{batas_bawah},\text{jumlah_particle},D))$$
5. Tentukan letak particle pada iterasi tahapan selanjutnya dengan persamaan  
$$\text{Ref}[f(i,:),\text{SAIDITOT}(i,:),\text{SAIFITOT}(i,:),\text{SAIDI}(i,:),\text{SAIFI}(i,:)] = \text{fitness}(x(i,:));$$
6. Evaluasi fungsi nilai target pada iterasi tahapan selanjutnya.

7. Mengupdate *Pbest* (SAIDI) dan *Gbest* (SAIFI)
8. Menguji penyelesaian apakah sudah maksimal atau belum. Jika sudah maksimal, maka proses akan berhenti dan bila maksimal maka akan kembali ke tahapan 4 lagi.

#### 4.7 Analisis dan Simulasi

Analisis dan simulasi dilakukan dengan 4 skenario:

1. Simulasi sistem eksisting Penyulang Pujon 20 kV
- Pada skenario ini sistem eksisting Penyulang Pujon 20 kV disimulasikan. Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis didapatkan *losses* Penyulang Pujon.

#### 2. Simulasi sistem injeksi dengan PV

Pada penelitian ini sistem PV didesain sebesar 1,3 MVA dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 380 VAC. Besarnya daya tersebut didasarkan dengan potensi sumber daya alam dan hasil pengukuran radiasi rata-rata sinar matahari. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari sistem PV kemudian akan dinaikkan menjadi 20 kV dengan menggunakan *transformator* 0,38/20 kV. Akan tetapi karena tegangan keluaran pada sistem PV berupa tegangan DC maka dibutuhkan *inverter* untuk merubah tegangan keluaran 380 VDC menjadi 380 VAC.

#### 3. Simulasi sistem injeksi dengan WPP

Pada penelitian ini Pembangkit Tenaga Angin (*Wind Power Plan*) sistem didesain dengan kapasitas 2 MVA. Dengan mempertimbangkan lokasi dari sistem WPP serta data-data pengukuran dilapangan maka sistem WPP menggunakan tegangan 690 VAC. Pembangkit ini didesain sesuai dengan kecepatan angin sebesar 2,9 m/s. Turbin angin yang dipilih yaitu turbin angin *horizontal* yang mampu digunakan pada kecepatan angin rendah dapat menghasilkan daya listrik yang tinggi.

#### 4. Simulasi sistem injeksi dengan PV dan WPP

Skenario ini meninjeksi antara tiga sistem yang ada yaitu sistem PV dan WPP dihubungkan dengan sistem eksisting. Injeksi antara ke tiga sumber ini bisa dilakukan di lokasi yang berdekatan dengan letak geografis pembangkit Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dan daerah yang membutuhkan tambahan tenaga listrik.

Dengan meninjeksi PV dan WPP sistem secara bersama-sama. Sistem ini menghasilkan banyak permasalahan antara lain drop tegangan disisi bus 67 dan bus yang terhubung satu line dengan bus 67.



## 5.1 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data dari Gardu Induk (GI) Sengkaling Penyulang Pujon PLN (Persero) APJ Rayon Malang, Indonesia. Berdasarkan penelitian sebelumnya, Sistem Penyulang Pujon di suplai oleh Trafo GI Sengkaling yang mempunya 2 sel trafo distribusi dengan masing-masing kapasitas 60 MVA/1732 A 150/20 KV SHANDONG (trafo IV) dan 30 MVA/866 150/20 KV UNINDO (trafo III). Pada trafo III melayani 4 penyulang dengan kapasitas 320 A setiap penyulang dan trafo IV melayani 4 penyulang pula dengan kapasitas arus beban masing-masing sebesar 400 A.

### 5.1.1 Lokasi Pembangkit Tersebar (*Distributed Generation*)

Lokasi DG berada disekitar Gunung Banyak terletak dilapangan Songgokerto kelurahan Songgokerto kecamatan Batu Kota Administratif. Sistem Penyulang Pujon dipilih dikarenakan jarak lokasi pembangkit DG dengan jaringan SUTM 20 kV berdekatan, sekitar kurang lebih 440 meter yaitu pada tiang SUTM 20 kV dengan koordinat *latitude*  $-7.864428^{\circ}$  dan *longitude*  $112.504837^{\circ}$ .

Penetuan lokasi DG ini berdasarkan studi kelayakan kondisi geografis kota Batu yang berada didaerah perbukitan dan pegunungan pada ketinggian 600-3000 meter diatas permukaan air laut (DPL). Telah dilakukan penelitian sebelumnya (Lukman 2016).

### 5.1.2 PT. PLN Gardu Induk Sengkaling

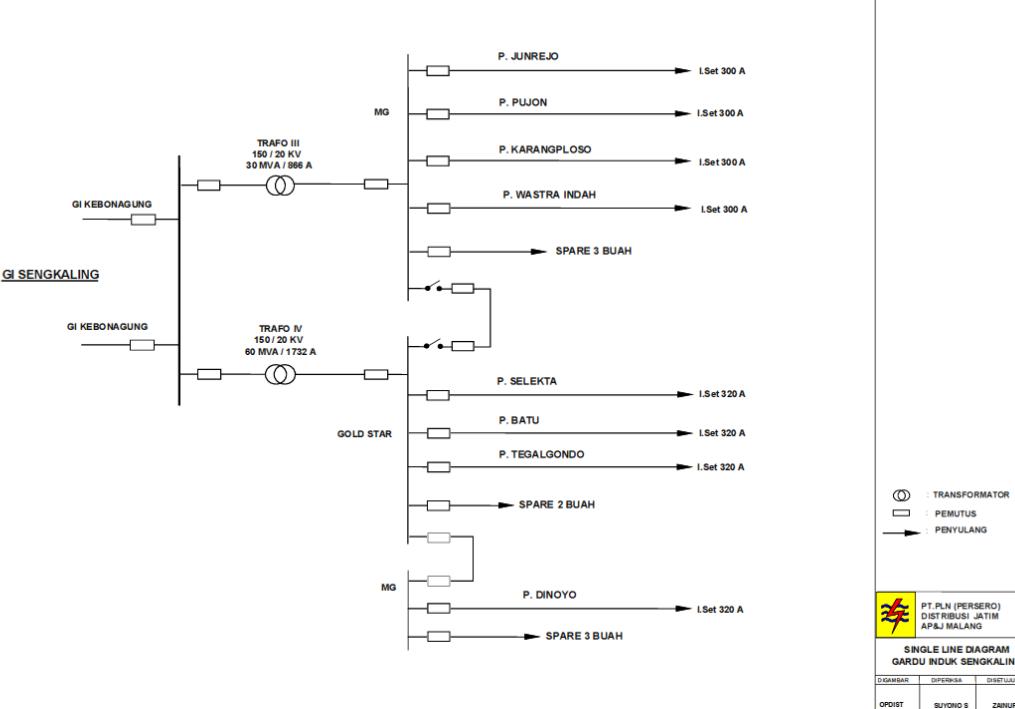
PT. PLN Gardu Induk Sengkaling merupakan bagian area pelayanan dari PT. PLN APJ (Area Pelayanan Jaringan) Malang Raya. Jaringan sistem PT. PLN APJ Malang sendiri terdiri dari 11 Gardu Induk (GI) dan 74 penyulang, salah satu diataranya GI Sengkaling.

Gardu Induk Sengkaling berfungsi untuk mendistribusikan listrik di area kota Batu dan sekitarnya. GI Sengkaling melayani 8 penyulang yaitu penyulang Junrejo, Pujon,

## BAB V

# HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Wastra Indah, Karangploso, Seleka Batu, Tegalondo dan Dinoyo. Single line GI Sengkaling di tunjukan oleh gambar 5.1.



Gambar 5.1 Single line GI Sengkaling

Sumber: PT. PLN Area Malang Batu

Gambar 5.1 menunjukkan GI Sengkaling disuplai 2 sumber jaringan SUTT 150 kV yang

keduanya terinterkoneksi dengan GI Kebon Agung. Penyalang yang ada pada GI Sengkaling

dibagi menjadi dua *transformator* yaitu Trafo III 150/20 kV 30 MVA dengan pembatas arus

beban sebesar 866 Ampere dan Trafo IV 150/20 kV 60 MVA dengan pembatas arus beban

sebesar 1732 Ampere. Pada trafo 3 menyuplai 4 penyalang yaitu Penyalang Junrejo dengan

daya 5,9 MW, Pujon 5,29 MW, Karangploso 7,5 MW dan Wastra Indah 6,88 MW. Sedangkan

trafo 4 menyuplai 4 penyalang yaitu Seleka 6,5 MW, Batu 6,85 MW, Tegalgondo 9,9 MW

dan Dinoyo 9,1 MW. Pada table 5.1 menunjukkan penyalang pada GI Sengkaling dan kapasitas

arus yang ditanggung oleh masing-masing penyalang.

Tabel 5.1 Trafo pada Gardu Induk Sengkaling

<b>Trafo 150/20 kV 30 MVA</b>		<b>Trafo 150/20 kV 60 MVA</b>	
Penyulang	Ampere	Penyulang	Ampere
Junrejo	300	Selecta	320
Pujon	300	Batu	320
Karangploso	300	Tegalgondo	320
WastraIndah	300	Dinoyo	320

Sumber: PT. PLN Area Malang Batu

### 5.2.1 Data Eksisting Sistem 20 kV

GI Sengkaling mempunyai dua sel yang masing-masing dipasang trafo 150/20 kV berkapasitas 30 MVA dan 60 MVA. Penyulang Pujon adalah salah satu penyulang di GI Sengkaling. Penyulang Pujon disuplai dari trafo 150/20 kV 30 MVA dengan kapasitas beban terpasang 300 A. Gardu distribusi 20/0,38 kV yang terpasang pada Penyulang Pujon terpasang Gardu Induk sebanyak 71 unit masing-masing berkapasitas antara 25 kVA hingga 250 kVA.

Data kapasitas daya terpasang baik beban maksimum dan minimum pada gardu distribusi di Penyulang Pujon dapat dilihat pada table 5 dengan total beban minimum sebesar 1390,6 kVA dan total beban maksimum sebesar 4890,7 kVA.

Tabel 5.2 Data beban dan kapasitas trafo Penyulang Pujon

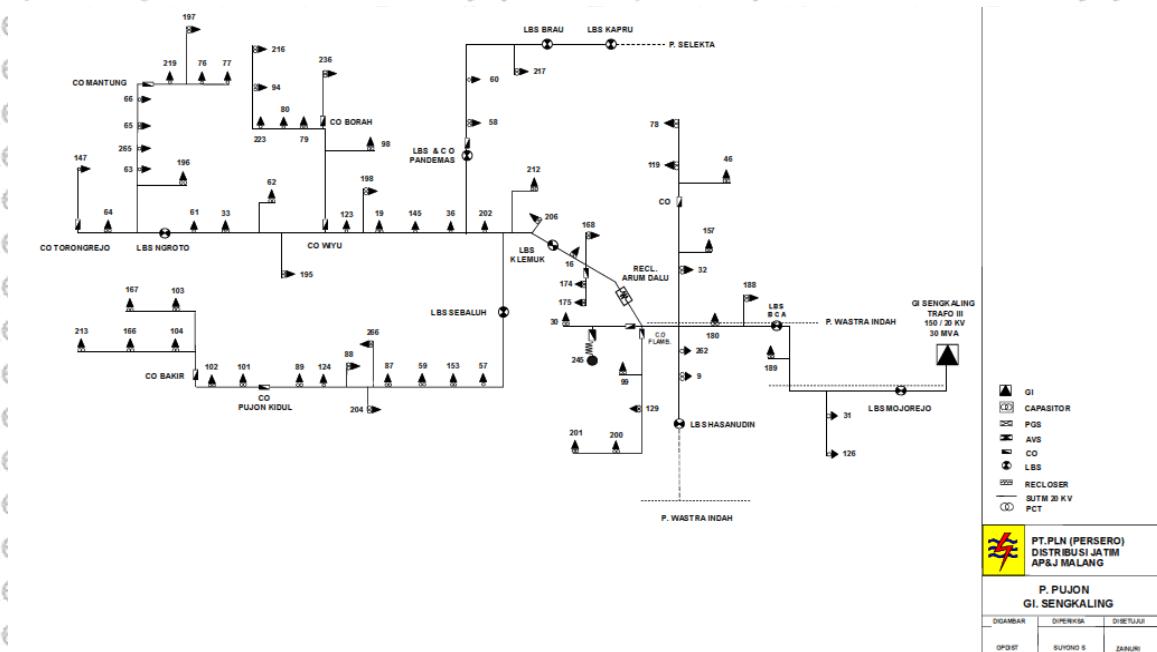
				<b>BEBAN</b>	
<b>NO</b>	<b>NO Bus</b>	<b>KODE GARDU</b>	<b>KAP.TRAFO (kVA)</b>	<b>Min (kVA)</b>	<b>Maks (kVA)</b>
1	BUS-2	D0031	75	10,8	23,2
2	BUS-3	D0126	150	21,7	116,2
3	BUS-5	D0189	160	23,1	76,6
4	BUS-7	D0188	160	23,1	122,2
5	BUS-8	D0180	100	14,4	32,7
6	BUS-10	D0032	200	28,9	92
7	BUS-11	D0157	200	51,5	68,7
8	BUS-12	D0262	100	12,5	38
9	BUS-13	D0009	250	36,1	196
11	BUS-15	D0119	150	24,1	73,1
12	BUS-16	D0078	160	23,1	109,5
13	BUS-17	D0025	75	10,8	27,6
14	BUS-21	D0129	160	23,1	84,8
15	BUS-23	D0099	100	14,4	66,8
16	BUS-24	D0200	50	7,2	24,7
17	BUS-25	D0201	100	1,8	14,4
18	BUS-26	D0202	100	14,4	55,9
19	BUS-28	D0030	160	23,1	59,1
20	BUS-30	D0174	160	23,1	101,5
21	BUS-31	D0175	100	14,4	14,5

NO	NO Bus	KODE GARDU	KAP.TRAFO (kVA)	BEBAN	
				Min (kVA)	Maks (kVA)
23	BUS-33	D0168	25	3,6	4,3
24	BUS-38	D0206	200	28,9	70,8
25	BUS-40	D0212	50	7,2	35,3
26	BUS-43	D0057	150	21,7	100,8
27	BUS-44	D0153	160	23,1	78,7
28	BUS-45	D0059	160	23,1	76
29	BUS-46	D0087	100	14,4	23,2
30	BUS-48	D0266	200	28,9	54,8
31	BUS-50	D0204	50	7,2	11,8
32	BUS-52	D0088	100	5	20,1
33	BUS-54	D0124	50	7,2	27,5
34	BUS-55	D0089	160	23,1	98,2
35	BUS-56	D0101	100	14,4	46,5
36	BUS-57	D0102	160	23,1	96,9
37	BUS-59	D0103	100	14,4	40,1
38	BUS-60	D0167	50	7,2	15,5
39	BUS-63	D0104	100	14,4	56,6
40	BUS-64	D0166	50	7,2	25,8
41	BUS-67	D0058	100	14,4	45,3
43	BUS-68	D0060	160	23,1	116
44	BUS-70	D0217	50	7,2	28,6
45	BUS-73	D0036	75	10,8	44,7
46	BUS-74	D0145	160	23,1	96,8
47	BUS-75	D0019	160	23,1	113,4
48	BUS-77	D0198	160	23,1	116,6
49	BUS-79	D0123	150	21,7	124,1
50	BUS-82	D0098	160	23,1	92,9
51	BUS-85	D0236	160	23,1	81,2
52	BUS-87	D0079	200	28,9	148,6
53	BUS-88	D0080	150	23,7	71,8
54	BUS-89	D0223	50	7,2	30,7
55	BUS-90	D0094	100	14,4	59,5
56	BUS-91	D0216	160	23,1	79,8
57	BUS-94	D0195	160	23,1	47,5
58	BUS-97	D0062	200	98,9	131,9
59	BUS-98	D0033	250	50,6	153,2
60	BUS-99	D0061	160	23,1	105,2
61	BUS-101	D0064	100	14,4	52,3
62	BUS-102	D0147	50	7,2	38,8
63	BUS-105	D0196	50	7,2	20,5
64	BUS-107	D0063	100	14,4	52,9
65	BUS-108	D0265	100	24,4	73,9
66	BUS-109	D0065	100	14,4	58,9
67	BUS-110	D0066	160	23,1	108,9
68	BUS-111	D0219	100	14,4	52,2
69	BUS-113	D0076	75	10,8	41,3
70	BUS-114	D0077	160	23,1	103,8
Total				1390,6	4890,7

Sumber: PT. PLN APJ Malang, (2015)

Saluran distribusi yang ada di Penyulang Pujon menggunakan SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah). Jenis saluran yang digunakan adalah kabel AAAC (*All Alumunium Alloy Conductor*) dengan berbagai ukuran. Pada saluran distribusi Penyulang Pujon terdapat 117 bus dengan total panjang saluran sejauh 59,65 km.

Single line diagram saluran distribusi Penyulang Pujon di tunjukan oleh gambar 5.2.



Gambar 5.2 Single Line diagram Penyulang Pujon

Sumber: PT. APJ PLN Malang, (2015)

### 5.2.2 Data Total Konsumen Setiap Load Point Penyulang Pujon

Seperti yang dapat dilihat pada gambar 5.2, bahwa Penyulang Pujon mempunyai 78 load point dan jumlah konsumen sejumlah 21024 konsumen di tunjukan oleh tabel 5.3.

Tabel 5.3 Total konsumen setiap load point Penyulang Pujon

No	Load Point	Total Konsumen
1	Titik beban TB 1	160
2	Titik beban TB 2	85
3	Titik beban TB 3	355
4	Titik beban TB 4	1
6	Titik beban TB 6	283
7	Titik beban TB 7	653
8	Titik beban TB 8	22
9	Titik beban TB 9	56
10	Titik beban TB 10	1

No	Load Point	Total Konsumen
11	Titik beban TB 11	652
12	Titik beban TB 12	415
13	Titik beban TB 13	683
14	Titik beban TB 14	82
15	Titik beban TB 15	83
16	Titik beban TB 16	454
17	Titik beban TB 17	262
18	Titik beban TB 18	15
19	Titik beban TB 19	37
20	Titik beban TB 20	501
21	Titik beban TB 21	241
22	Titik beban TB 22	2
23	Titik beban TB 23	11
24	Titik beban TB 24	134
25	Titik beban TB 25	701
26	Titik beban TB 26	1
27	Titik beban TB 27	1
28	Titik beban TB 28	119
29	Titik beban TB 29	4
30	Titik beban TB 30	496
31	Titik beban TB 31	420
32	Titik beban TB 32	9
33	Titik beban TB 33	448
34	Titik beban TB 34	536
35	Titik beban TB 35	455
36	Titik beban TB 36	450
37	Titik beban TB 37	40
38	Titik beban TB 38	854
39	Titik beban TB 39	416
40	Titik beban TB 40	177
41	Titik beban TB 41	397
42	Titik beban TB 42	506
43	Titik beban TB 43	1
44	Titik beban TB 44	1
46	Titik beban TB 46	1
47	Titik beban TB 47	322
48	Titik beban TB 48	238
49	Titik beban TB 49	556
50	Titik beban TB 50	104
51	Titik beban TB 51	1
52	Titik beban TB 52	129
53	Titik beban TB 53	235
54	Titik beban TB 54	1
55	Titik beban TB 55	862
56	Titik beban TB 56	546
57	Titik beban TB 57	230
58	Titik beban TB 58	90
59	Titik beban TB 59	220
60	Titik beban TB 60	605
61	Titik beban TB 61	205
62	Titik beban TB 62	196
63	Titik beban TB 63	317
64	Titik beban TB 64	413

No	Load Point	Total Konsumen
65	Titik beban TB 65	389
66	Titik beban TB 66	164
67	Titik beban TB 67	266
68	Titik beban TB 68	77
69	Titik beban TB 69	150
70	Titik beban TB 70	158
71	Titik beban TB 71	586
72	Titik beban TB 72	215
73	Titik beban TB 73	509
74	Titik beban TB 74	290
75	Titik beban TB 75	144
76	Titik beban TB 76	345
77	Titik beban TB 78	94
78	Titik beban TB 78	256
Total		21.047

Sumber: PT. APJ PLN Malang

Tabel 5.4 Data saluran Penyulang Pujon

NO	Titik Beban	JENIS SALURAN	JARAK SALURAN		KHA
			Meter	km	
1	Saluran L1	AAAC 3x70mm2	7112	7,112	255
2	Saluran L2	AAAC 3x70mm2	26	0,026	255
3	Saluran L3	AAAC 3x55mm2	513	0,513	215
4	Saluran L4	AAAC 3x70mm2	30	0,03	255
5	Saluran L5	AAAC 3x70mm2	430	0,43	255
6	Saluran L6	AAAC 3x55mm2	604	0,604	215
7	Saluran L7	AAAC 3x70mm2	304	0,304	255
8	Saluran L8	AAAC 3x55mm2	513	0,513	215
9	Saluran L9	AAAC 3x55mm2	733	0,733	215
10	Saluran L10	AAAC 3x150mm2	110	0,11	405
11	Saluran L11	AAAC 3x70mm2	183	0,183	255
12	Saluran L12	AAAC 3x55mm2	507	0,507	215
13	Saluran L13	AAAC 3x110mm2	97	0,097	325
14	Saluran L14	AAAC 3x150mm2	616	0,616	404
15	Saluran L15	AAAC 3x70mm2	234	0,234	255
16	Saluran L16	AAAC 3x150mm2	553	0,553	405
17	Saluran L17	AAAC 3x150mm2	774	0,774	405
18	Saluran L18	AAAC 3x55mm2	138	0,138	215
19	Saluran L19	AAAC 3x55mm2	67	0,067	215
20	Saluran L20	AAAC 3x70mm2	936	0,936	255
21	Saluran L21	AAAC 3x70mm2	305	0,305	255
22	Saluran L22	AAAC 3x70mm2	708	0,708	255
23	Saluran L23	AAAC 3x70mm2	581	0,582	255
24	Saluran L24	AAAC 3x70mm2	48	0,048	255
25	Saluran L25	AAAC 3x70mm2	38	0,038	255
26	Saluran L26	AAAC 3x70mm2	133	0,133	255
27	Saluran L27	AAAC 3x70mm2	623	0,623	255
28	Saluran L28	AAAC 3x70mm2	233	0,233	255
29	Saluran L29	AAAC 3x70mm2	252	0,252	255
30	Saluran L30	AAAC 3x70mm2	39	0,039	255
31	Saluran L31	AAAC 3x70mm2	295	0,295	255
32	Saluran L32	AAAC 3x70mm2	101	0,101	255

NO	Titik Beban	JENIS SALURAN	JARAK SALURAN		KHA
			Meter	Km	
33	Saluran L33	AAAC 3x150mm2	1308	0,308	405
34	Saluran L34	AAAC 3x70mm2	951	0,951	255
35	Saluran L35	AAAC 3x150mm2	66	0,066	405
36	Saluran L36	AAAC 3x150mm2	145	0,145	405
37	Saluran L37	AAAC 3x70mm2	47	0,047	255
38	Saluran L38	AAAC 3x70mm2	44	0,044	255
39	Saluran L39	AAAC 3x70mm2	434	0,434	255
40	Saluran L40	AAAC 3x70mm2	395	0,395	255
41	Saluran L41	AAAC 3x70mm2	100	0,1	255
42	Saluran L42	AAAC 3x70mm2	39	0,039	255
43	Saluran L43	AAAC 3x70mm2	767	0,767	255
44	Saluran L44	AAAC 3x70mm2	198	0,198	255
45	Saluran L45	AAAC 3x70mm2	341	0,341	255
46	Saluran L46	AAAC 3x70mm2	947	0,947	255
47	Saluran L47	AAAC 3x70mm2	571	0,571	255
48	Saluran L48	AAAC 3x70mm2	130	0,03	255
49	Saluran L49	AAAC 3x70mm2	448	0,448	255
50	Saluran L50	AAAC 3x70mm2	400	0,4	255
51	Saluran L51	AAAC 3x70mm2	806	0,806	255
52	Saluran L52	AAAC 3x70mm2	76	0,076	255
53	Saluran L53	AAAC 3x70mm2	128	0,128	255
54	Saluran L54	AAAC 3x70mm2	498	0,498	255
55	Saluran L55	AAAC 3x70mm2	468	0,468	255
56	Saluran L56	AAAC 3x70mm2	47	0,047	255
57	Saluran L57	AAAC 3x70mm2	1689	1,689	255
58	Saluran L58	AAAC 3x70mm2	1085	1,085	255
59	Saluran L59	AAAC 3x70mm2	1163	1,163	255
60	Saluran L60	AAAC 3x50mm2	527	0,527	195
61	Saluran L61	AAAC 3x70mm2	909	0,909	255
62	Saluran L62	AAAC 3x50mm2	294	0,294	195
63	Saluran L63	AAAC 3x50mm2	145	0,145	195
64	Saluran L64	AAAC 3x70mm2	1405	1,405	255
65	Saluran L65	AAAC 3x70mm2	1205	1,205	255
66	Saluran L66	AAAC 3x70mm2	769	0,769	255
67	Saluran L67	AAAC 3x70mm2	700	0,700	255
68	Saluran L68	AAAC 3x70mm2	238	0,238	255
69	Saluran L69	AAAC 3x70mm2	912	0,912	255
70	Saluran L70	AAAC 3x70mm2	684	0,684	255
71	Saluran L71	AAAC 3x70mm2	130	0,13	255
72	Saluran L72	AAAC 3x70mm2	2203	2,203	255
73	Saluran L73	AAAC 3x70mm2	52	0,052	255
74	Saluran L74	AAAC 3x70mm2	949	0,949	255
75	Saluran L75	AAAC 3x70mm2	618	0,618	255
76	Saluran L76	AAAC 3x70mm2	59	0,059	255
77	Saluran L77	AAAC 3x150mm2	286	0,286	405
78	Saluran L78	AAAC 3x70mm2	204	0,204	255
79	Saluran L79	AAAC 3x150mm2	24	0,024	405
80	Saluran L80	AAAC 3x70mm2	247	0,247	255
81	Saluran L81	AAAC 3x150mm2	1560	1,560	405
82	Saluran L82	AAAC 3x70mm2	57	0,057	255
83	Saluran L83	AAAC 3x150mm2	390	0,39	405
84	Saluran L84	AAAC 3x150mm2	398	0,398	405

NO	Titik Beban	JENIS SALURAN	JARAK SALURAN		KHA
			Meter	Km	
85	Saluran L85	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	39	0,039	404
86	Saluran L86	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	727	0,727	255
87	Saluran L87	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	1004	1,004	255
88	Saluran L88	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	136	0,136	405
89	Saluran L89	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	502	0,502	405
90	Saluran L90	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	889	0,889	405
91	Saluran L91	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	913	0,913	405
92	Saluran L92	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	558	0,558	405
93	Saluran L93	AAAC 3x150mm <sup>2</sup>	16	0,016	405
94	Saluran L94	AAAC 3x50mm <sup>2</sup>	245	0,245	195
95	Saluran L95	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	57	0,057	255
96	Saluran L96	AAAC 3x50mm <sup>2</sup>	28	0,028	195
97	Saluran L97	AAAC 3x50mm <sup>2</sup>	27	0,027	195
98	Saluran L98	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	204	0,204	255
99	Saluran L99	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	774	0,774	255
100	Saluran L100	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	653	0,653	255
101	Saluran L101	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	411	0,411	215
102	Saluran L102	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	79	0,079	215
103	Saluran L103	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	1244	1,244	255
104	Saluran L104	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	24	0,024	255
105	Saluran L105	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	282	0,282	215
106	Saluran L106	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	144	0,144	215
107	Saluran L107	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	35	0,035	215
108	Saluran L108	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	589	0,589	215
109	Saluran L109	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	898	0,898	215
110	Saluran L110	AAAC 3x55mm <sup>2</sup>	296	0,296	215
111	Saluran L111	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	965	0,965	255
112	Saluran L112	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	89	0,089	255
113	Saluran L113	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	49	0,049	255
114	Saluran L114	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	2042	2,042	255
115	Saluran L115	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	603	0,603	255
116	Saluran L116	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	97	0,097	255
117	Saluran L117	AAAC 3x70mm <sup>2</sup>	46	0,046	255

Sumber: PT. APJ PLN Malang

### 5.2.3 Analisis Data Sistem Eksisting

Sistem distribusi Penyulang Pujon menggunakan sistem radial. Data eksisting Penyulang Pujon menunjukkan bahwa total kapasitas daya terpasang adalah sebesar 8,96 MVA dengan total beban maksimum sebesar 4,89 MVA dan total beban minimum sebesar 1,39 MVA. Dengan kata lain bahwa prosentase total beban maksimum sebesar 54,58% dan total beban minimum sebesar 15,52% dari kapasitas total daya terpasang.

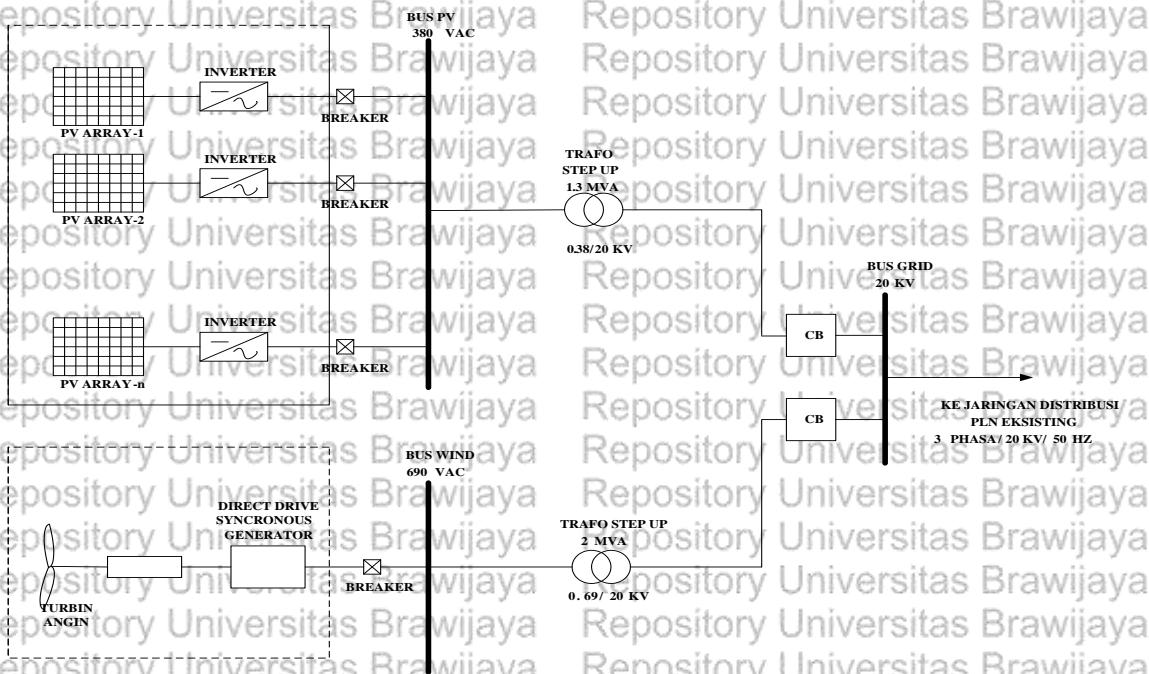
Data saluran penyulang Pujon GI Sengkaling yang didapat dari PT. PLN APJ Malang Raya berupa data digital yang menginformasikan lokasi dan letak tiang, trafo *step down* 20/0,38 kV.

Sistem Penyulang Pujon terdiri 117 bus dengan total panjang saluran 59,65 km, panjang antar bus terpanjang sejauh 7,112 km dan terpendek 0,016 km. Jarak penghantar terpanjang adalah jarak penghantar dari GI ke bus-1 dan terpendek adalah dari bus-91 ke bus-92. Panjang dan pendeknya penghantar akan mempengaruhi aliran daya pada saluran penghantar, semakin panjang penghantar maka nilai resistansi dan reaktansinya semakin besar begitu juga sebaliknya.

### 5.3 Simulasi dan Analisis

Sistem *Distributed Generation* (DG) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sistem pembangkit tersebar yaitu pembangkit yang memiliki dua atau lebih pembangkit yang digabungkan. Pembangkit yang digunakan *Photovoltaic* dan *Wind Power Plant* yang keduanya digabungkan (*Hybrid*) menjadi satu sumber Pembangkit Tenaga Listrik dan injeksi ke sistem distribusi Penyulang Pujon.

Kapasitas daya yang dibangkitkan oleh sistem *hybrid* disesuaikan dengan ketersediaan sumber energi yang ada di daerah Pujon. Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya berkapasitas 1,3 MVA dan Pembangkit Listrik Tenaga Angin berkapasitas 2 MVA. Kapasitas masing-masing pembangkit ini desesuaikan dengan potensi sumber daya alam berdasarkan pengukuran.



*Gambar 5.3 Desain pembangkitPV-WPP*

Sumber: Hakim, (2015)

repository Universitas Brawijaya

<b>DG</b>	<b>Rating DG MVA</b>
Photovoltaic (PV)	1,3 MVA
Wind Power Plan (WPP)	2 MVA

### 5.3.1 Simulasi skenario

Pada penelitian ini simulasi dilakukan 4 skenario;

1. Sistem eksisting penyulang pujon 20 kV
  2. Sistem eksisting di injeksi dengan *Photovoltaic* (PV)
  3. Sistem eksisting di injeksi dengan dengan *Wind Power Plan* (WPP)
  4. Sistem eksisting di injeksi dengan PV dan WPP

Pada skenario 1 menggunakan data eksisting dari penyulang pujon 20 kV.

Skenario 2 menghubungkan antara eksisting Penyulang Pujon dan PV. Pada eksisting dihubungkan *hybrid* sistem PV ke Penyulang Pujon pada bus 67. Bus ini dipilih karena melihat kondisi dilapangan bahwa bus 67 ini berada dikawasan yang membutuhkan banyak energi listrik(kawasan Jatim Park). Sistem hybrid didesain dengan menghubungkan antara sistem PV 1.3 MVA dengan bus 67 yang memiliki beban rata-rata sebesar 31,7 kW dan 19,6 kVAR.

Pada skenario 3 menghubungkan antara eksisting Penyulang Pujon dan sistem WPP.

Sistem *hybrid* didesain dengan menghubungkan antara sistem WPP 2 MVA dengan bus 67.

Sistem WPP yang diinjeksikan ke eksisting adalah tegangan AC tanpa diubah menjadi tegangan DC, sehingga tidak menggunakan penyiarah. Dengan menggunakan trafo step up dari

• kV menjadi 20 kV.

Pada skenario 4 mendesain *hybrid* antara tiga sistem yang ada yaitu sistem PV dan WPP dihubungkan dengan sistem eksisting.

### 5.3.2 Sistem Eksisting Penyalur Pjuon 20 kV

Tabel 5.5 Kapasitas DG pada Repository

# Penyulang Pujon



Pada skenario ini sistem Penyulang Pujon 20 kV di simulasi. Pada gambar 5.4 desain eksisting Penyulang Pujon 20 kV



Pada skenario ini sistem eksisting Penyulang Pujon 20 kV disimulasikan. Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis didapatkan *losses* Penyulang Pujon terdapat *losses* sebesar 200,1 kW dan – 1335,9 kvar.

Pada tabel di bawah ini data *short circuit* data eksisting pada bus 67

Tabel 5.6 *Short circuit* data eksisting

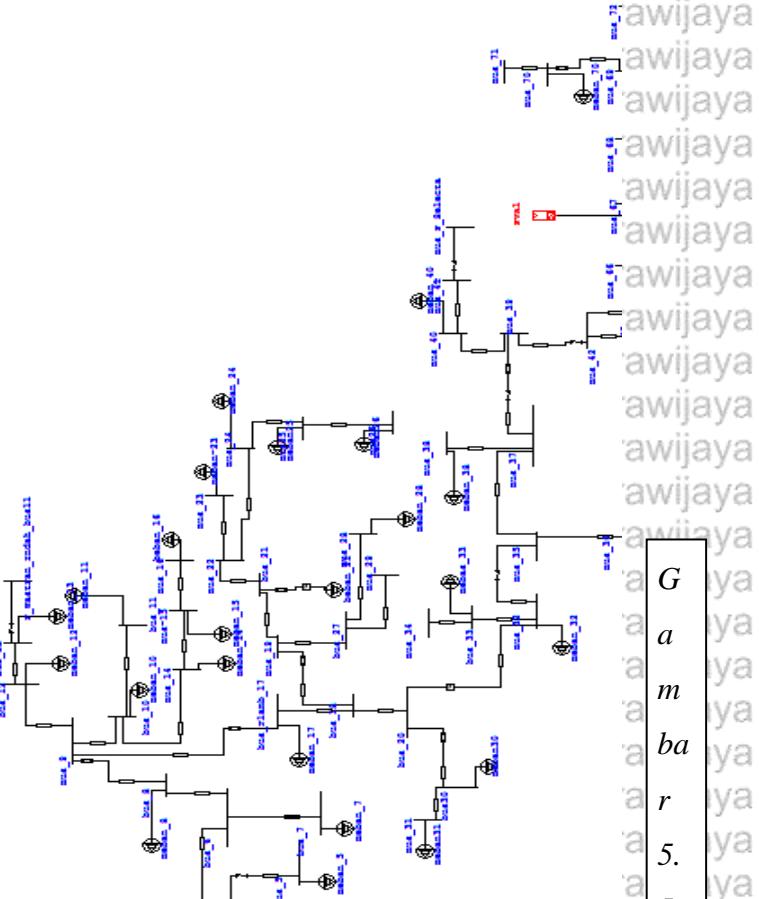
<b>Short Circuit Bus-67 ½ Cycle dan 1,5 sampai 4 cycle</b>		
<b>No Bus</b>	<b>½ Cycle (kA real)</b>	<b>1,5 sampai 4 cycle (kA real)</b>
Bus 67	0,519	0,462
Bus 66	0,515	0,459
Bus 68	0,003	0,002
Beban 67	0,001	0,001

Nilai Keandalan dari sistem Penyulang Pujon dengan pemodelan ETAP sebesar SAIFI 20,3494 kali/year, SAIDI 194,9981 jam/year dan CAIDI 9,583.

Berdasarkan SPLN 68-2 1986 pasal lima tentang indeks keandalan dan Tingkat Jaminan nilai SAIFI 3,2 kali/year dan SAIDI 21 jam/year, nilai indeks Penyulang Pujon melebihi dari batas standar yang telah ditetapkan oleh PLN maka Penyulang Pujon dikategorikan tidak andal.

### 5.3.3 Sistem Eksisting di Injeksi dengan Photovoltaic (PV)

Pada skenario ini sistem di injeksi dengan PV pada bus 67 sebesar 1,3 MVA pada eksisting Penyulang Pujon.



Pada penelitian ini sistem PV didesain sebesar 1,3 MVA dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 380 VAC. Besarnya daya tersebut didasarkan dengan potensi sumber daya alam dan hasil pengukuran radiasi rata-rata sinar matahari. Tegangan keluaran yang dihasilkan dari sistem PV kemudian akan dinaikkan menjadi 20 kV dengan menggunakan transformator 0,38/20 kV. Akan tetapi karena tegangan keluaran pada sistem PV berupa tegangan DC maka dibutuhkan inverter untuk merubah tegangan keluaran 380 menjadi 380 VAC.

Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis

didapatkan total *losses* sebesar 200,1 kW dan -1335,9 kvar. *Short circuit* 3 fase bus 67 pada setengah gelombang peratama didapat kA real 0,562 dan

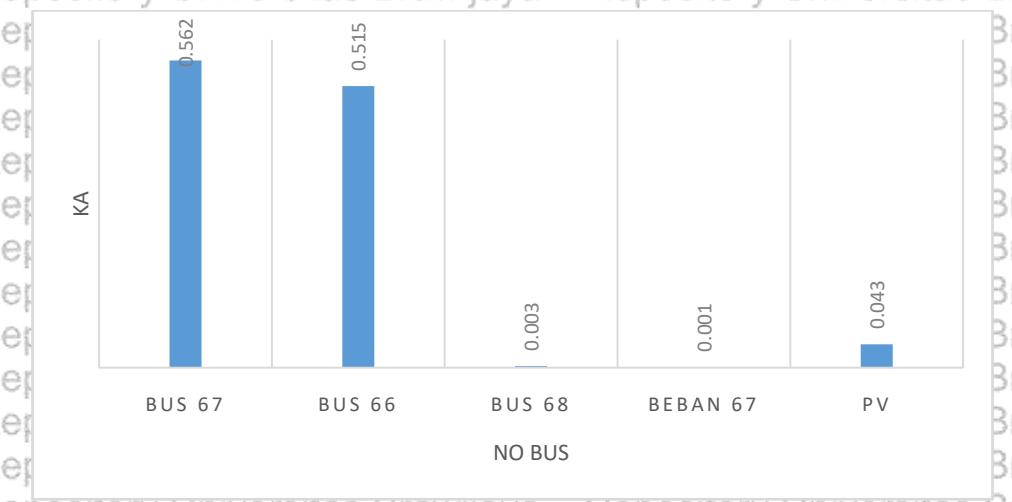
pada

VDC

*magnitude* 1,626 dan pada saat 1,5 sampai 4 gelombang didapat kA real 0,505 dan *magnitude* 1,440.

Tabel 5.6 *Short circuit* dengan injeksi PV

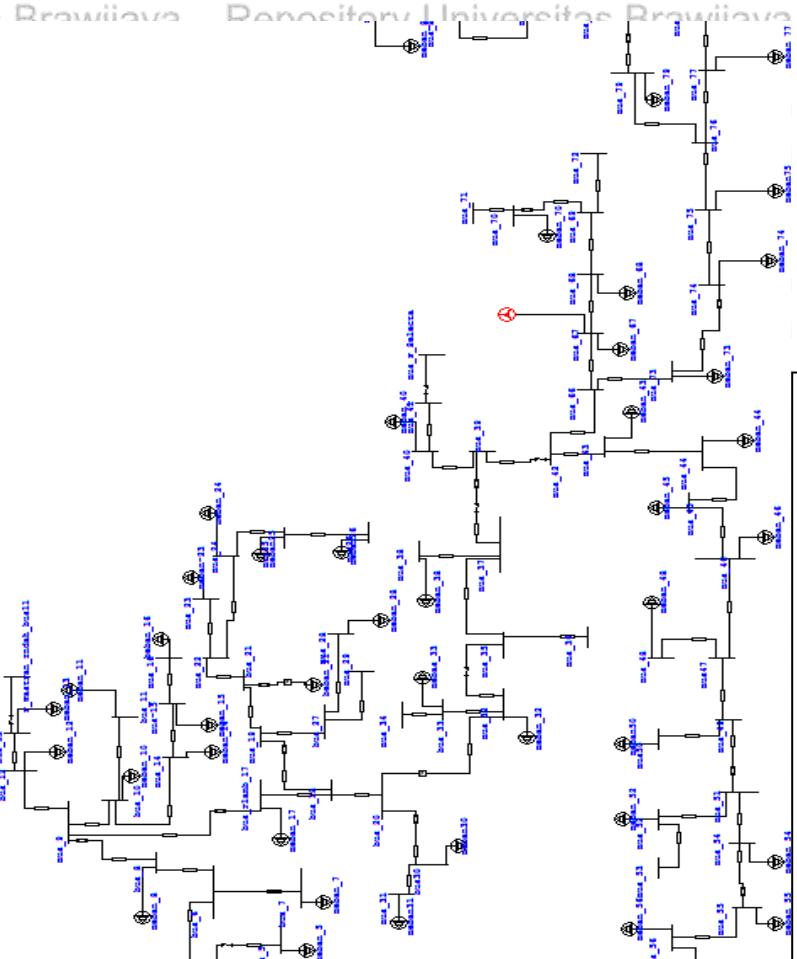
<b>Short Circuit Bus-67</b>		
<b>No Bus</b>	<b>½ Cycle (kA real)</b>	<b>1,5 sampai 4 cycle (kA real)</b>
Bus 67	0,562	0,505
Bus 66	0,515	0,459
Bus 68	0,003	0,002
Beban 67	0,001	0,001
PV	0,043	0,043



Gambar 5.6 Grafik *short circuit* Injeksi PV

### 5.3.4 Sistem Eksisting di Injeksi dengan Wind Power Plan (WPP)

Skenario ini menghubungkan antara eksisting Penyulang Pujon dan sistem WPP pada bus 67 di tunjukan oleh gambar 5.7.



Pada penelitian ini pembangkit tenaga angin (*Wind Power Plan*) sistem didesain dengan kapasitas 2 MVA. Dengan mempertimbangkan lokasi dari sistem WPP serta data-data pengukuran dilapangan.

Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis didapatkan nilai total *losses* sebesar 220kW dan -1308,06 kvar. *Short circuit* 3 fase pada bus 67 pada setengah gelombang peratama didapat kA real 0,534 dan *magnitude* 2,059 dan pada saat 1,5 sampai 4 gelombang didapat kA real 0,472 dan *magnitude* 1,723.

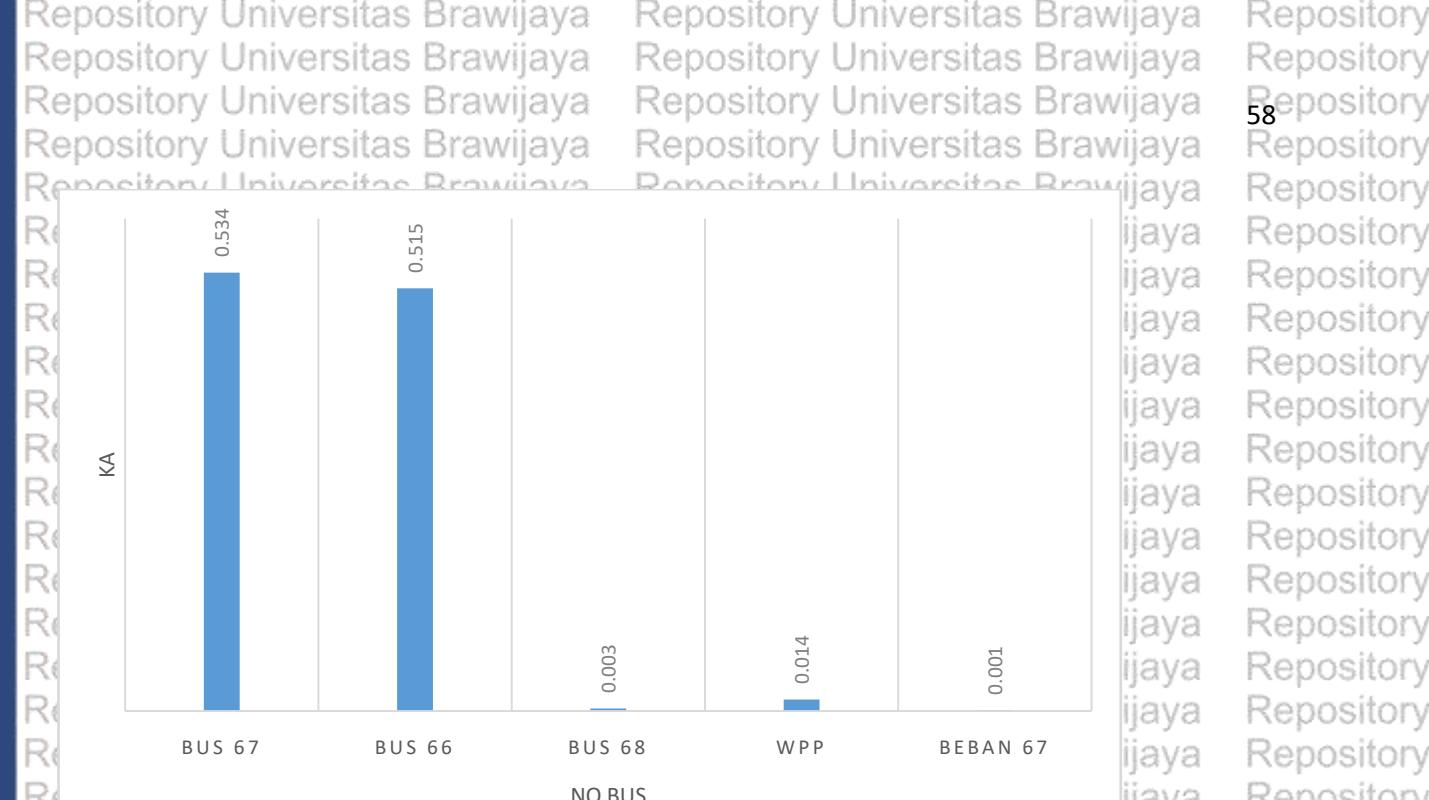
Tabel 5.8 *Short circuit* dengan injeksi WPP

#### Short Circuit Bus-67

No Bus	1/2 Cycle (kA real)	1,5 sampai 4 cycle (kA real)
Bus 67	0,534	0,472
Bus 66	0,515	0,459
Bus 68	0,003	0,002
WPP	0,014	0,010
Beban 67	0,001	0,001

Gambarnya menunjukkan diagram jaringan listrik yang kompleks, terdiri dari banyak bus, jalur listrik, dan peralatan. Jalur listrik ditandai dengan garis biru dan bus dengan titik sumbu. Beberapa jalur dan bus ditandai dengan garis merah, yang mungkin menunjukkan kondisi abnormal seperti pendek atau kerusakan. Diagram ini digunakan untuk analisis sirkuit dan optimisasi sistem listrik.

57

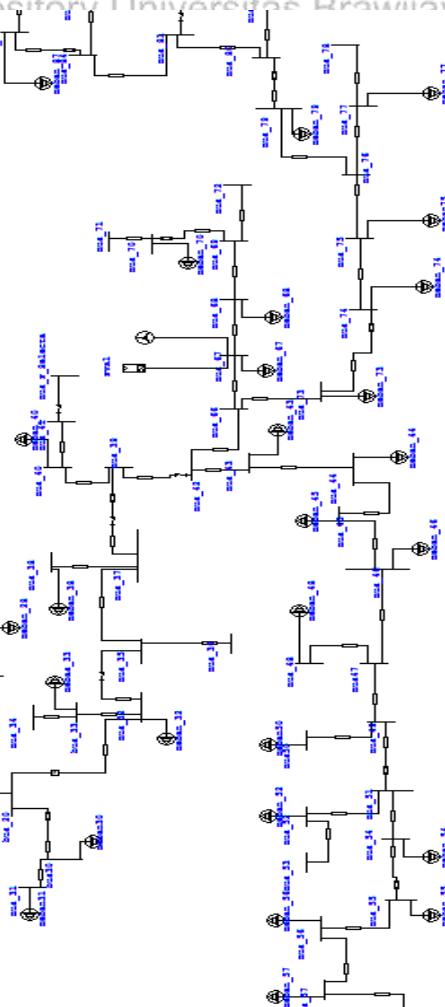


### 5.3.5 Sistem Eksisting di Injeksi dengan PV dan WPP

Pada skenario ini sistem antara PV dan WPP di injeksi dengan sistem eksisting pada

Penyalang Pujon di bus 67 terlihat pada gambar 5.8.

G  
a  
m  
a  
b  
a  
r  
5.9  
De  
sai  
n  
inj  
eksi  
PV  
da  
n  
W  
PP  
de  
ng  
an  
eks  
isti  
ng  
Pe  
ny  
ula  
ng



Skenarion ini mendesain hybrid antara tiga sistem yang ada yaitu sistem PV dan WPP dihubungkan dengan Sistem eksisting. Desain *hybrid* antara ke tiga sumber ini bisa dilakukan dilokasi yang berdekatan dengan letak geografis Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dan daerah yang membutuhkan tambahan tenaga listrik.

Dari hasil simulasi atau pemodelan dengan ETAP *load flow* analisis didapatkan nilai total *losses* pada sistem Penyulang Pujon sebesar 220 kW. *Short circuit* 3 fase pada Rbus 67 pada setengah gelombang pertama didapat kA real 0,577 dan *magnitude* 2,071 dan pada saat 1,5 sampai 4 gelombang didapat kA real 0,515 dan *magnitude* 1,735.

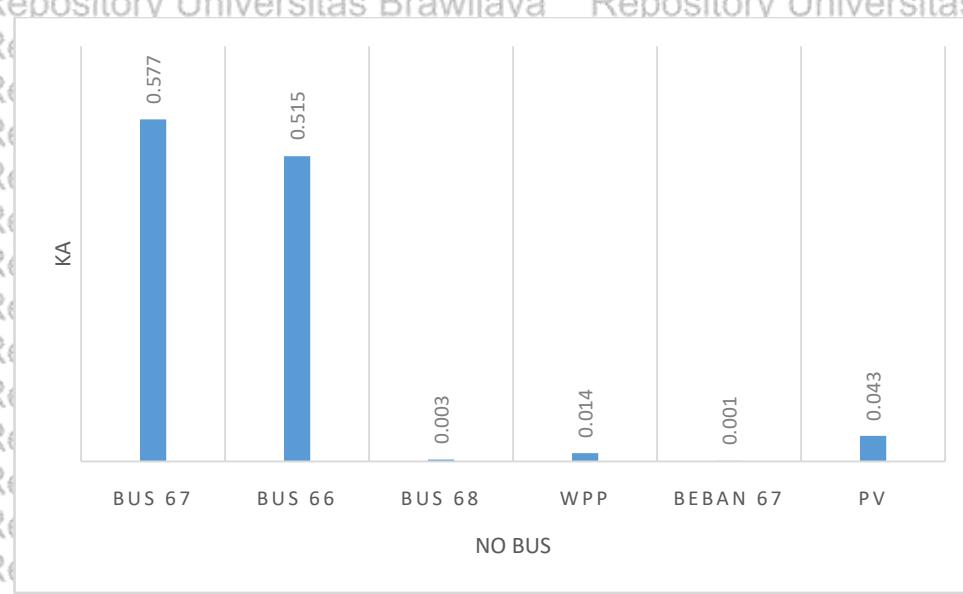
Tabel 5.9 Rugi daya akibat injeksi DG pada bus 67

Besar injeksi (MVA)	Rugi Daya Injeksi DG Penyulang Pujon
P (kW)	Q (kVAr)
Tanpa DG (Eksisting)	200,1
PV 1,3 MVA	-1335,9
WPP 2 MVA	-1308,6

PV & WPP 3,3 MVA	220	- 1308,6
------------------	-----	----------

Tabel 5.10 *Short circuit* dengan injeksi PV dan WPP

Short Circuit Bus-67		
No Bus	½ Cycle (kA real)	1,5 sampai 4 cycle (kA real)
Bus 67	0,577	0,515
Bus 66	0,515	0,459
Bus 68	0,003	0,002
WPP	0,014	0,010
Beban 67	0,001	0,001
PV	0,043	0,043



Gambar 5.10 Grafik *short circuit* injeksi PV dan WPP dengan eksisting

#### 5.4 Analisis Gangguan Hubung Singkat

Analisis studi aliran daya dan *short circuit* dilakukan berdasarkan sistem riil Penyalang

Pujon yang bertujuan memastikan arus maksimum dan minimum SC 3 fasa dan 2 fasa (line to line).

Kalkulasi arus SC 3 fasa dan 2 fasa (line-lien), perlu di ketahui besar impedansi

penyalang pada suatu titik gangguan tertentu dapat di asumsikan pada gangguan bus bar 20 kV.

Tabel 5.11 Data Trafo 3 GI Sengkaling

Merk	<b>UNINDO</b>
Tipe	TTUB 150/30000
Daya	30 MVA
Impedansi	12,5 %
Tegangan	150/20 kV
Tahanan Pentanahan	500 ohm
Hub.Belitan	YNyn0 (d1)

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Terlihat di tabel 5.11, nilai besar tegangan dasar ialah 20 kV, sedangkan untuk daya sebesar 30 MVA. Dengan data sekunder dari PT. PLN (Persero) APP Malang arus SC dengan nilai 2,529 MVA sehingga dapat dihitung arus gangguan hubung singkat sebagai berikut:

#### >> Impedansi Dasar

$$Z_{\text{dasar}} = \frac{(kV - I)^2}{MVA 3\Phi} = \frac{(20)^2}{30} = 13,33 \Omega$$

#### >> Impedansi Sumber

$$Z_{\text{sumber}} = \frac{(kV - I)^2}{MVA hs} = \frac{(20)^2}{25929,44} = 0,158 \Omega$$

#### >> Impedansi Sumber dalam satuan per unit

$$Z_{\text{sumber (pu)}} = \frac{Z_{\text{sumber}}}{Z_{\text{dasar}}} = \frac{0,1581}{13,33} = j 0,0119 \text{ pu}$$

#### >> Impedansi trafo daya

Impedansi trafo daya terlihat pada tabel 5.11 dalam bentuk persentase sebesar 12,5 %, maka:

$$Z_{1T} = j0,125 \left( \frac{20}{20} \right)^2 \times \left( \frac{30}{30} \right) = j 0,125 \text{ pu}$$

Pada trafo 3 GI Sengkaling terhubung belitan YNyn0(d1), dengan tahanan tinggi

sebesar  $500 \Omega$  maka:

$$\begin{aligned} Z_{OT} (\text{pu}) &= 3 \times Z_{1T} \\ &= 3 \times j 0,125 \text{ pu} \\ &= j 0,375 \text{ pu} \end{aligned}$$

#### >> Impedansi Penyalang

$$\begin{aligned} Z_{1\text{penyalang}} &= (0,2162 + j 0,3305 \Omega/\text{km}) \times 56,65 \text{ km} \\ &= 22,3723 \angle 56,65^\circ \end{aligned}$$

$$Z_{2\text{penyalang}} = Z_{1\text{penyalang}}$$

Untuk memperoleh dalam per unit maka;

$$Z_{1,2 \text{ penyulang}} (\text{pu}) = \frac{Z_{1,2 \text{ penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}}$$

$$= \frac{22,3723 + j 56,65}{13,33 \Omega}$$

$$= 1,7000 + j 4,244$$

$$= 1,7896 + j 42,43^\circ$$

Sebaliknya untuk mendapatkan nilai impedansi nol, maka;

$$Z_{\text{penyulang}} = (0,3631 + j 1,618 \Omega/\text{km}) \times 56,65 \text{ km}$$

$$= 93,94 + j 77,35^\circ$$

Dalam mencari nilai per unit maka;

$$Z_{\text{penyulang}} (\text{pu}) = \frac{Z_{\text{penyulang}}}{Z_{\text{dasar}}}$$

$$= \frac{93,94 + j 77,35^\circ}{13,33}$$

$$= 1,543 + j 6,874 \text{ pu}$$

#### >> Impedansi Total

$$Z_{1\text{Total}} = Z_{2\text{Total}} = Z_s + Z_{1T} + Z_{1\text{penyulang}}$$

$$Z_{1\text{Total}} 100 \% = (j 0,0119) + (j 0,125) + (0,9187 + j 1,404)$$

$$= 1,7896 + j 42,43^\circ$$

Sebaliknya dalam mencari nilai impedansi keseluruan urutan nol, di karenakan

trafo 3 netralya di groundkan dengan tahan Rn senilai  $500 \Omega$ , maka:

$$Z_n (\text{pu}) = \frac{R_n}{Z_{\text{dasar}}}$$

$$= \frac{500}{13,33}$$

$$= 37,5 \text{ per unit}$$

Dari hasil perhitungan impedansi ground dalam p.u maka nilai impedansi total sebagai berikut::

$$Z_{n\text{Total}} = Z_{0T} + 3 \cdot Z_n + Z_{0\text{penyulang}}$$

$$Z_{nT} 100 \% = (j 37,5) + (3 \cdot 37,5) + (1,543 + j 6,874)$$

$$= 122,37 + j 21,26^\circ$$

#### >> Gangguan arus SC pada Penyulang Pujon

Pada kalkulasi arus SC ini nilai impedansi ( $Z_f$ ) dianggap nol dan  $E_a$  adalah

tegangan sebesar  $10^\circ$  karena dalam bentuk per satuan (pu).

$$\text{Trafo III} = 30 \text{ MVA}$$

$$\text{Teg} = 20 \text{ kV}$$

$$= 30.000 \text{ kVA}$$

>> Arus Dasar  
 $I_{\text{dasar}} = \frac{kVA \ 3\phi}{\sqrt{3}x \ kV \ L-L}$   
 $= \frac{3000 \text{ kVA}}{\sqrt{3}x 20kV}$   
 $= 866,03 \text{ A}$

>> Gangguan arus SC 3 fasa

Pada perhitungan gangguan arus SC 3 fasa impedansi total arus positif terbagi beberapa titik gangguan, maka hasil perhitungan SC sebagai berikut:

Untuk gangguan arus SC 100 % panjang penyulang

$$I_{\text{Short } 3\phi} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_f}$$
$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{1,7896 \angle 42,43^\circ}$$
$$= 0,5587 \angle -42,43^\circ \text{ pu}$$

Karena perhitungan masih dalam bentuk pu, maka:

Harga Sebenarnya = Harga per unit x  $I_{\text{dasar}}$

$$I_{\text{Short } 3\phi} (\text{A}) = I_{\text{Short } 3\phi} (\text{pu}) \times I_{\text{dasar}} (\text{A})$$
$$= (0,5587 \angle -42,43^\circ) \times 866,03 \text{ A}$$
$$= 483,85 \text{ A}$$

>> Gangguan arus SC fasa ke fasa

Pada kalkulasi arus SC antar fasa ke fasa impedansi total urutan positif dan negative di beberapa titik terjadi SC maka hasil perhitungan arus SC untuk 100 % sebagai berikut:

$$I_{\text{Short } 2\phi} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f}$$
$$= \frac{1 \angle 0^\circ}{3,5784 \angle 42,43^\circ}$$
$$= 0,2793 \angle -42,43^\circ \text{ pu}$$

Karena masih dalam bentuk pu maka nilai sebenarnya adalah

Harga Sebenarnya = Harga per unit x  $I_{\text{dasar}}$

$$I_{\text{Short } 2\phi} (\text{A}) = I_{\text{Short } 2\phi} (\text{pu}) \times I_{\text{dasar}} (\text{A})$$
$$= (0,2793 \angle -42,43^\circ) \times 866,03 \text{ A}$$
$$= 241,8793 \text{ A}$$

## 5.5 Keandalan

### 5.5.1 Laju Kegagalan

Dalam laju kegagalan suatu peralatan mempunyai besaran laju kegagalan ( $\lambda$ ) ialah nilai rata-rata dari total per satuan waktu pada selang waktu pemantauan (T). Dalam perhitungan ini sebuah ke gagalan di hitung dalam satuan tahun dan di dapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda = d/T$$

Dimana:

$\lambda$  = laju kegagalan kontinu (kegagalan/year)

d = total kegagalan terjadi selang waktu dalam tahun

T = total waktu pengamatan (year)

Hasil laju kegagalan berubah sesuai dengan faktor dari umur peralatan selama bekerja.

Ada tiga indeks keandalan yang digunakan pada penelitian ini yakni SAIFI dan SAIDI.

#### 1. System Average Interruption Frequency Index

Dalam mencari nilai indeks SAIFI menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SAIFI = \Sigma NTB \times \lambda TB/N$$

Dimana:

$\Sigma NTB$  = Jumlah konsumen pada titik *load/beban*

$\lambda TB$  = Frekuensi *disturb/gangguan* pada sistem

N = Total pelanggan pada sistem

#### 2. System Average Interruption Duration Index

Dalam metode SAIDI menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SAIDI = \Sigma NTB \times UTB/N$$

Dimana:

$\Sigma NTB$  = Jumlah konsumen pada titik *load/beban*

$UTB$  = Frekuensi lamanya gangguan

N = Total pelanggan pada sistem

### 5.5.2 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section I

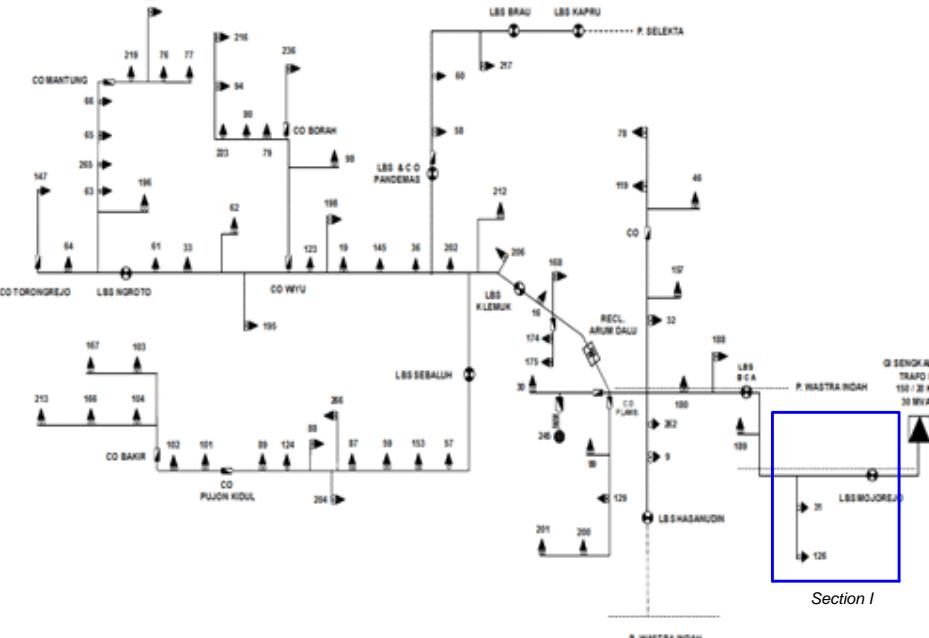
Pada penelitian ini metode ST digunakan untuk menentukan nilai indeks SAIFI dan

SAIDI yang membagi beberapa seksi agar dalam proses perhitungannya menjadi tidak rumit

pada metode FMEA. Dalam pembagiannya, *section I* adalah pembagian topologi Penyulang Pujon yang pertama.

Dari *section I* ini nanti akan ditampilkan daftar mode kegagalan peralatan distribusi yang ada pada *section I* akan dihitung dan ditampilkan frekuensi kegagalan peralatan distribusi pada *section I* Penyulang Pujon selama satu tahun berdasarkan standar SPLN No.59: 1985. Waktu pemulihuan (waktu pemadaman dan waktu pemindahan) peralatan distribusi pada *section I* Penyulang Pujon akan dihitung dan ditampilkan nilai Indeks keandalan SAIFI dan SAIDI.

Pembagian *section I* pada Penyulang Pujon ditunjukkan oleh gambar 5.14.



Gambar 5.11 Penyulang Pujon *section I*

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada *section I* terdiri dari lima peralatan distribusi yaitu satu buah Pemutus Tegana (CB), satu buah trafo distribusi T1, satu buah *sectionalizer* S1 serta dua buah saluran udara L1 dan L2. Langkah selanjutnya membuat skenario gangguan pada CB, dapat dilihat seluruh titik beban pada Penyulang Pujon akan mengalami waktu pemadaman (*repair time*) sehingga tidak ada aliran distribusi listrik yang mengalir pada Penyulang Pujon. Pada skenario ini

diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada pada *section I* selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama karena pedekatan pada skenario ini menggunakan analisis bawah mode sub bagian. Dilihat pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain. Daftar mode kegagalan pada *section I* ditunjukan oleh tabel 5.12.

Tabel 5.12 Mode kegagalan pada *section I*

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
1	Pemutus Tenaga B (CB)	Titik Beban TB1-TB78	
2	Trafo T1	Titik Beban TB1	
3	Sectionalizer I	Titik Beban TB1-TB78	
4	Saluran L1	Titik Beban TB1-TB78	
5	Saluran L2	Titik Beban TB1-TB78	

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran ditunjukan pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.13  $\lambda$  peralatan distribusi *section I*

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Pemutus Tenaga B (CB)	0,004		0,004
2	Trafo T1	0,005		0,005
3	Sectionalizer I	0,003		0,003
4	Saluran L1	0,2	0,896	0,1792
5	Saluran 2	0,2	0,588	0,1176
Total				0,3088

Perhitungan waktu gangguan (U) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihan ditunjukan pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.14  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi *section I*

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Pemutus Tenaga B (CB)	0,004	10	0,15
2	Trafo T1	0,005	10	0,15
3	Sectionalizer I	0,003	10	0,15
4	Saluran L1	0,2	3	0,15
5	Saluran 2	0,2	3	0,15

Pada tabel 5.15 menampilkan data waktu pemulihan peralatan.

Tabel 5.15 Waktu pemulihan peralatan distribusi section I

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Pemutus Tenaga B (CB)	80	0	80
2	Trafo T1	10	0	10
3	Sectionalizer I	80	0	80
4	Saluran L1	57	0	57
5	Saluran 2	57	0	57

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka setiap peralatan distribusi berdasarkan titik beban dapat dihitung, sebagai berikut:

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada Section I

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times ATB}{N}$$

$$\text{SAIFI T1} = \frac{\sum NTB1 \times ATB1}{N} = \frac{160 \times 0,005}{21047} = 3,80102 \times 10^{-5} \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T1} = \frac{\sum NTB1 \times UTB1}{N} = \frac{160 \times 0,05}{21047} = 0,00038 \text{ jam/tahun}$$

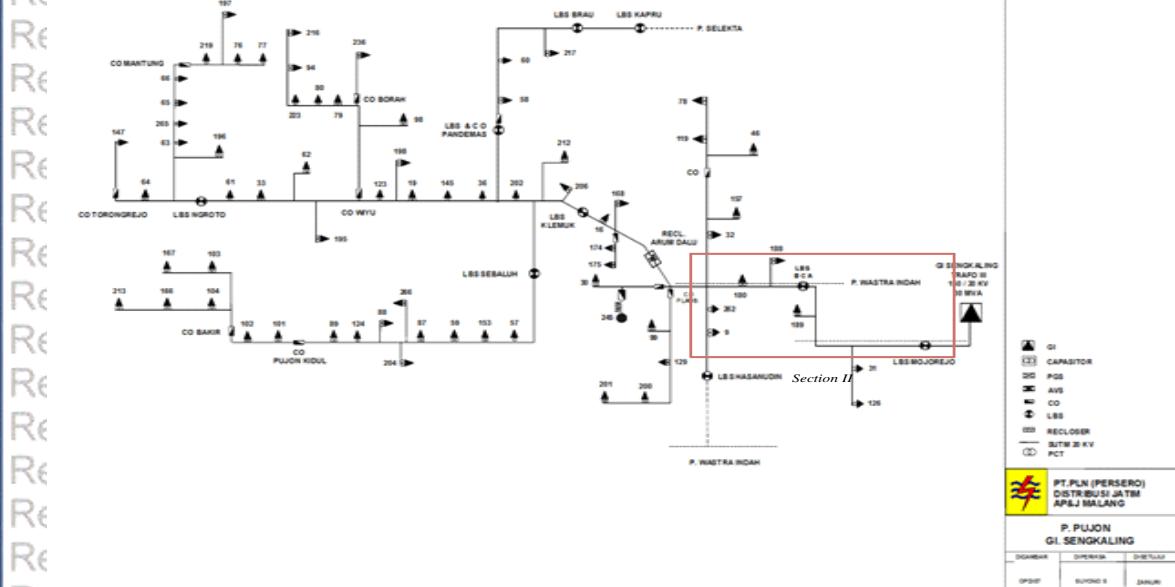
Tabel 5.16 Indeks keandalan Section I

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section I	
		SAIFI	SAIDI
1	Pemutus Tenaga B (CB)	$3,04081 \times 10^{-5}$	0,002433
2	Trafo T1	$3,80102 \times 10^{-5}$	0,00038
3	Sectionalizer I	$2,28061 \times 10^{-5}$	0,001824
4	Saluran L1	0,001520407	0,086663
5	Saluran 2	0,001520407	0,086663
Total		0,003132038	0,177964

### 5.5.3 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section II

Pada skenario ini (section II) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario section II dengan menggunakan metode *section technique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusi

Ronya. Pembagian section II pada Penyulang Pujon ditampilkan pada gambar 5.12.



*Gambar 5.12 Penyulang Pujon Section II*

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada section II jumlah peralatan terdiri dari 15 peralatan distribusi yakni, lima buah trafo distribusi T2 hingga T6, duan buah *sectionalizer* S1 dan S2 serta delapan buah saluran udara L3 hingga L10. Langkah berikutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechnique* pada section II dan membuat daftar mode distribusi Penyulang Pujon. Dari daftar kegagalan dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan apabila terdapat ganggaun pada peralatan distribusi yang terdapat pada section II. Misalkan gangguan terjadi pada saluran udara L5, tidak semua peralatan distribusi akan mengalami waktu pemadaman (*repair time*). Hal ini disebabkan hanya titik beban pada section II hingga section VII yang mengalami waktu pemadamaan (gangguan). Sedangkan trafo distribusi T1 atau pada titik beban TB1 hanya mengalami waktu pemindahan (*switching time*) singkat dibandingkan waktu pemadaman (*repair time*). Seperti section I, pada section II diasumsikan semua peralatan distribusi selain trafo memiliki waktu pemulihan yang sama (waktu pemadaman dan waktu pemindahan) karena pendekatan ini menggunakan analisa *bottom-up*. Trafo distribusi adalah titik beban yang lain, sehingga pada analisis ini semua peralatan distribusi didaftarkan pada mode kegagalan masing-masing. Berikut ini daftar mode kegagalan pada section II di sajikan pada tabel 5.17.

Tabel 5.17 Mode kegagalan pada section II

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem
----	----------------	------------------------

		<b>Waktu Pemadaman TB</b>	<b>Waktu Pemindahan TB</b>
1	Trafo T2	Titik Beban TB2	-
2	Trafo T3	Titik Beban TB3	-
3	Trafo T4	Titik Beban TB4	-
4	Trafo T5	Titik Beban TB5	-
5	Trafo T6	Titik Beban TB6	-
6	<i>Sectionalizer S1</i>	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
7	<i>Sectionalizer S2</i>	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
8	Saluran L3	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
9	Saluran L4	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
10	Saluran L5	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
11	Saluran L6	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
12	Saluran L7	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
13	Saluran L8	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
14	Saluran L9	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1
15	Saluran L10	Titik Beban TB2-TB78	Titik Beban TB1

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB, nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran dijelaskan pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 λ peralatan distribusi section II

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T2	0,005	-	0,005
2	Trafo T3	0,005	-	0,005
3	Trafo T4	0,005	-	0,005
4	Trafo T5	0,005	-	0,005
5	Trafo T6	0,005	-	0,005
6	Sectionalizer S1	0,003	-	0,003
7	Sectionalizer S2	0,003	-	0,003
8	Saluran L3	0,2	5,319	1,0638
9	Saluran L4	0,2	0,29	0,058
10	Saluran L5	0,2	0,137	0,0274
11	Saluran L6	0,2	0,489	0,0978
12	Saluran L7	0,2	0,122	0,0244
13	Saluran L8	0,2	0,081	0,0162
14	Saluran L9	0,2	0,423	0,0846
15	Saluran L10	0,2	0,255	0,051
Total				1,9084

Perhitungan waktu gangguan ( $U$ ) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihan ditunjukkan oleh tabel 5.19.

Tabel 5.19  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi *section II*

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	(jam)	(jam)
1	Trafo T2	0,005	10	0,15
2	Trafo T3	0,005	10	0,15
3	Trafo T4	0,005	10	0,15
4	Trafo T5	0,005	10	0,15
5	Trafo T6	0,005	10	0,15
6	Sectionalizer S1	0,003	10	0,15
7	Sectionalizer S2	0,003	10	0,15
8	Saluran L3	1,0638	3	0,15
9	Saluran L4	0,058	3	0,15
10	Saluran L5	0,0274	3	0,15
11	Saluran L6	0,0978	3	0,15
12	Saluran L7	0,0244	3	0,15
13	Saluran L8	0,0162	3	0,15
14	Saluran L9	0,0846	3	0,15
15	Saluran L10	0,051	3	0,15

Pada tabel 5.20 menyajikan durasi waktu pemulih peralatan distribusi.

Tabel 5.20 Waktu pemulihan peralatan distribusi section II

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T2	10	0	10
2	Trafo T3	10	0	10
3	Trafo T4	10	0	10
4	Trafo T5	10	0	10
6	Sectionalizer S1	80	0	80
7	Sectionalizer S2	70	0,15	77,15
8	Saluran L3	31	0,15	31,15
9	Saluran L4	31	0,15	31,15
10	Saluran L5	31	0,15	31,15
11	Saluran L6	31	0,15	31,15
12	Saluran L7	31	0,15	31,15
13	Saluran L8	31	0,15	31,15
14	Saluran L9	31	0,15	31,15
15	Saluran L10	31	0,15	31,15

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka setiap perlatan distribusi berdasarkan titik beban dapat dihitung.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada section II

$$SAIFI = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$SAIFI T5 = \frac{\sum NTB5 \times \lambda TB5}{N} = \frac{766 \times 0,005}{21047}$$

= 0,000181974 kali/tahun

$$\text{SAIDI} = \frac{\Sigma NTB \times UTB}{N}$$

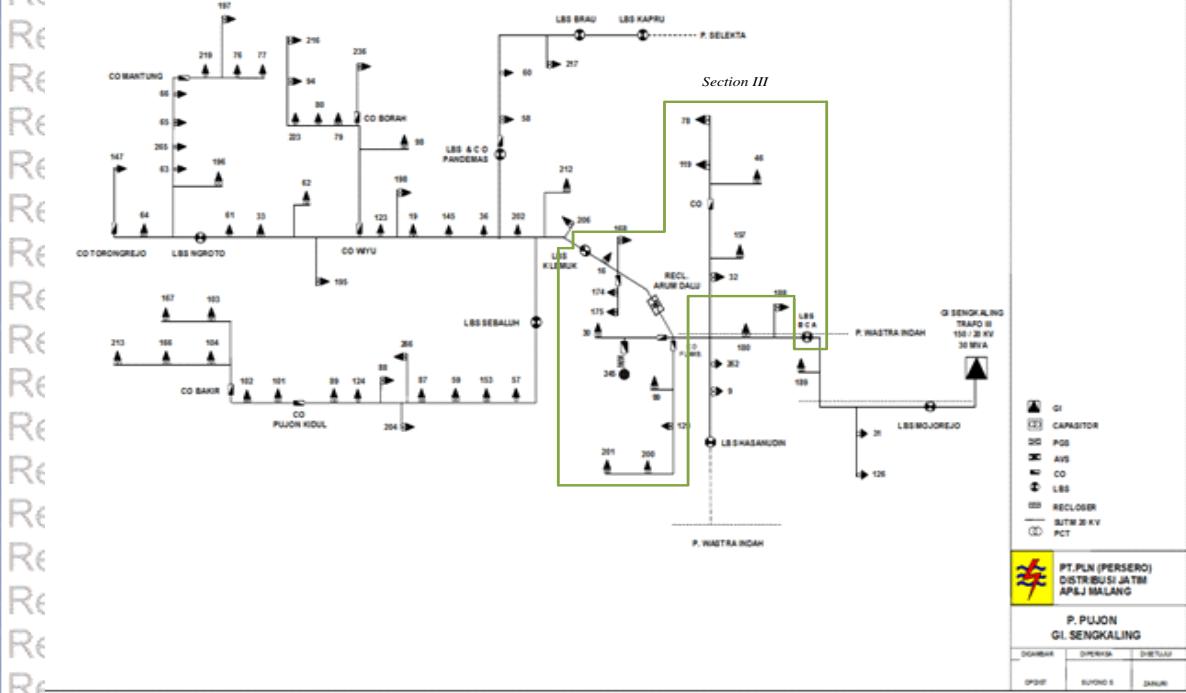
$$\text{SAIDI T6} = \frac{\Sigma N T B_6 \times U T B_6}{N} = \frac{766 \times 0,05}{21047} = 0,00182 \text{ jam/tahun}$$

Tabel 5.21 Indeks keandalan *section II*

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section II	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T2	0,000181974	0,00182
2	Trafo T3	0,000181974	0,00182
3	Trafo T4	0,000181974	0,00182
4	Trafo T5	0,000181974	0,00182
5	Trafo T6	0,000181974	0,00182
6	Sectionalizer S1	0,000109184	0,008735
7	Sectionalizer S2	0,000109184	0,008424
8	Saluran L3	0,03871672	1,206026
9	Saluran L4	0,002110895	0,065754
10	Saluran L5	0,000997216	0,031063
11	Saluran L6	0,003559405	0,110875
12	Saluran L7	0,000888032	0,027662
13	Saluran L8	0,000589595	0,018366
14	Saluran L9	0,003078995	0,095911
15	Saluran L10	0,001856132	0,057818
Total		0,052925224	1,639733

#### 5.5.4 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section III

Pada skenario ini (*section III*) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario *section III* dengan menggunakan metode *section technique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusinya. Pembagian *section III* pada Penyulang Pujon disajikan oleh gambar 5.13.



**Gambar 5.13 Penyulang Pujon section III**

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada *section III* jumlah peralatan terdiri dari 49 peralatan distribusi yakni, 20 buah trafo distribusi T7 hingga T25 dan T51, dua bauh *sectionalizer* S2 dan S3, serta 27 buah saluran udara L11 hingga L36 dan L76. Selanjutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechique* pada *section III* membuat daftar mode kegagalan. Dari daftar kegagalan ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan peralatan distribusi pada *section III*.

Pada section III diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama. Karena menggunakan pendekatan *bottom-up* mode kegagalan sub sistem dilihat pengaruhnya terhadap seluruh sistem. Pada skenario ini trafo distribusi adalah titik beban maka pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain.

Tabel 5.22 Mode kegagalan pada section III

<b>No</b>	<b>Nama Peralatan</b>	<b>Waktu Pemulihan Sistem</b>	
		<b>Waktu Pemadaman TB</b>	<b>Waktu Pemindahan TB</b>
1	Trafo T7	Titik Beban TB7	-
2	Trafo T8	Titik Beban TB8	-
3	Trafo T9	Titik Beban TB9	-
4	Trafo T10	Titik Beban TB10	-
5	Trafo T11	Titik Beban TB11	-
6	Trafo T12	Titik Beban TB12	-
7	Trafo T13	Titik Beban TB13	-
8	Trafo T14	Titik Beban TB14	-
9	Trafo T15	Titik Beban TB15	-
10	Trafo T16	Titik Beban TB16	-
11	Trafo T17	Titik Beban TB17	-
12	Trafo T18	Titik Beban TB18	-
13	Trafo T19	Titik Beban TB19	-
14	Trafo T20	Titik Beban TB20	-
15	Trafo T21	Titik Beban TB21	-
16	Trafo T22	Titik Beban TB22	-
17	Trafo T3	Titik Beban TB23	-
18	Trafo T24	Titik Beban TB24	-
19	Trafo T25	Titik Beban TB25	-
20	Trafo T51	Titik Beban TB51	-
21	Sectionalizer S2	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
22	Sectionalizer S3	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
23	Saluran L11	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
24	Saluran L12	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
25	Saluran L13	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
26	Saluran L14	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
27	Saluran L15	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
28	Saluran L16	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
29	Saluran L17	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
30	Saluran L18	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
31	Saluran L19	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
32	Saluran L20	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
33	Saluran L21	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
34	Saluran L22	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
35	Saluran L23	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
36	Saluran L24	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
37	Saluran L25	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
38	Saluran L26	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
39	Saluran L27	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
40	Saluran L28	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
41	Saluran L29	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
42	Saluran L30	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
43	Saluran L31	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
44	Saluran L32	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
45	Saluran L33	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
46	Saluran L34	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
47	Saluran L35	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
48	Saluran L36	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6

49	Saluran L76	Titik Beban TB7-TB78	Titik Beban TB1-TB6
----	-------------	----------------------	---------------------

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran

Tabel 5.23  $\lambda$  peralatan distribusi section III

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T7	0,005	-	0,005
2	Trafo T8	0,005	-	0,005
3	Trafo T9	0,005	-	0,005
4	Trafo T10	0,005	-	0,005
5	Trafo T11	0,005	-	0,005
6	Trafo T12	0,005	-	0,005
7	Trafo T13	0,005	-	0,005
8	Trafo T14	0,005	-	0,005
9	Trafo T15	0,005	-	0,005
10	Trafo T16	0,005	-	0,005
11	Trafo T17	0,005	-	0,005
12	Trafo T18	0,005	-	0,005
13	Trafo T19	0,005	-	0,005
14	Trafo T20	0,005	-	0,005
15	Trafo T21	0,005	-	0,005
16	Trafo T22	0,005	-	0,005
17	Trafo T3	0,005	-	0,005
18	Trafo T24	0,005	-	0,005
19	Trafo T25	0,005	-	0,005
20	Trafo T51	0,005	-	0,005
21	Sectionalizer S2	0,003	-	0,003
22	Sectionalizer S3	0,003	-	0,003
23	Saluran L11	0,2	0,302	0,0604
24	Saluran L12	0,2	0,327	0,0654
25	Saluran L13	0,2	0,513	0,1026
26	Saluran L14	0,2	0,069	0,138
28	Saluran L16	0,2	0,015	0,03
29	Saluran L17	0,2	0,509	0,1018
30	Saluran L18	0,2	0,126	0,0252
32	Saluran L20	0,2	0,724	0,1448
33	Saluran L21	0,2	0,507	0,1014
34	Saluran L22	0,2	0,205	0,041
35	Saluran L23	0,2	0,748	0,1496
36	Saluran L24	0,2	0,292	0,0584
37	Saluran L25	0,2	0,332	0,0664
38	Saluran L26	0,2	0,213	0,0426
39	Saluran L27	0,2	0,676	0,1352
40	Saluran L28	0,2	0,223	0,0446
41	Saluran L29	0,2	0,085	0,17

42	Saluran L30	0,2	0,125	0,025
43	Saluran L31	0,2	0,542	0,1084
44	Saluran L32	0,2	0,115	0,023
<b>No</b>	<b>Nama Peralatan</b>	<b>Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)</b>	<b>Panjang Tiap Saluran (KM)</b>	<b>Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)</b>
45	Saluran L33	0,2	0,358	0,0716
46	Saluran L34	0,2	0,135	0,027
47	Saluran L35	0,2	0,327	0,0654
48	Saluran L36	0,2	0,548	0,1096
49	Saluran L76	0,2	0,31	0,062
<b>Total</b>				2,2172

Perhitungan waktu gangguan (U) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihannya disajikan oleh tabel 5.24.

Tabel 5.24  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi section III

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T7	0,005	10	0,15
2	Trafo T8	0,005	10	0,15
3	Trafo T9	0,005	10	0,15
4	Trafo T10	0,005	10	0,15
5	Trafo T11	0,005	10	0,15
6	Trafo T12	0,005	10	0,15
7	Trafo T13	0,005	10	0,15
8	Trafo T14	0,005	10	0,15
9	Trafo T15	0,005	10	0,15
10	Trafo T16	0,005	10	0,15
11	Trafo T17	0,005	10	0,15
12	Trafo T18	0,005	10	0,15
13	Trafo T19	0,005	10	0,15
14	Trafo T20	0,005	10	0,15
15	Trafo T21	0,005	10	0,15
16	Trafo T22	0,005	10	0,15
17	Trafo T23	0,005	10	0,15
18	Trafo T24	0,005	10	0,15
19	Trafo T25	0,005	10	0,15
20	Trafo T51	0,005	10	0,15
21	Sectionalizer S2	0,003	10	0,15
22	Sectionalizer S3	0,003	10	0,15
23	Saluran L11	0,0604	3	0,15
24	Saluran L12	0,0654	3	0,15
25	Saluran L13	0,1026	3	0,15
26	Saluran L14	0,138	3	0,15
27	Saluran L15	0,0212	3	0,15
28	Saluran L16	0,03	3	0,15

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
29	Saluran L17	0,1018	3	0,15
30	Saluran L18	0,0252	3	0,15
31	Saluran L19	0,1206	3	0,15
32	Saluran L20	0,1448	3	0,15
34	Saluran L22	0,041	3	0,15
35	Saluran L23	0,1496	3	0,15
36	Saluran L24	0,0584	3	0,15
37	Saluran L25	0,0664	3	0,15
38	Saluran L26	0,0426	3	0,15
39	Saluran L27	0,1352	3	0,15
40	Saluran L28	0,0446	3	0,15
41	Saluran L29	0,17	3	0,15
42	Saluran L30	0,025	3	0,15
43	Saluran L31	0,1084	3	0,15
44	Saluran L32	0,023	3	0,15
45	Saluran L33	0,0716	3	0,15
46	Saluran L34	0,027	3	0,15
47	Saluran L35	0,0654	3	0,15
48	Saluran L36	0,1096	3	0,15
49	Saluran L76	0,062	3	0,15

Pada tabel 5.25 data pemulihan waktu peralatan distribusi.

Tabel 5.25  $\lambda$  waktu pemulihan peralatan distribusi section III

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T7	10	0	10
2	Trafo T8	10	0	10
3	Trafo T9	10	0	10
4	Trafo T10	10	0	10
5	Trafo T11	10	0	10
6	Trafo T12	10	0	10
7	Trafo T13	10	0	10
8	Trafo T14	10	0	10
9	Trafo T15	10	0	10
10	Trafo T16	10	0	10
11	Trafo T17	10	0	10
13	Trafo T19	10	0	10
14	Trafo T20	10	0	10
15	Trafo T21	10	0	10
16	Trafo T22	10	0	10
17	Trafo T3	10	0	10
18	Trafo T24	10	0	10
19	Trafo T25	10	0	10
20	Trafo T51	10	0	10
21	Sectionalizer S2	70	0,15	70,15
22	Sectionalizer S3	20	0,9	20,9
23	Saluran L11	16	0,9	16,9
24	Saluran L12	16	0,9	16,9
25	Saluran L13	16	0,9	16,9

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
26	Saluran L14	16	0,9	16,9
27	Saluran L15	16	0,9	16,9
28	Saluran L16	16	0,9	16,9
29	Saluran L17	16	0,9	16,9
30	Saluran L18	16	0,9	16,9
31	Saluran L19	16	0,9	16,9
32	Saluran L20	16	0,9	16,9
33	Saluran L21	16	0,9	16,9
34	Saluran L22	16	0,9	16,9
35	Saluran L23	16	0,9	16,9
36	Saluran L24	16	0,9	16,9
37	Saluran L25	16	0,9	16,9
38	Saluran L26	16	0,9	16,9
39	Saluran L27	16	0,9	16,9
40	Saluran L28	16	0,9	16,9
41	Saluran L29	16	0,9	16,9
42	Saluran L30	16	0,9	16,9
43	Saluran L31	16	0,9	16,9
44	Saluran L32	16	0,9	16,9
45	Saluran L33	16	0,9	16,9
46	Saluran L34	16	0,9	16,9
48	Saluran L36	16	0,9	16,9
49	Saluran L76	16	0,9	16,9

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka setiap peralatan distribusi berdasarkan titik beban dapat dihitung sebagai berikut:

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada section III

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$\text{SAIFI T13} = \frac{\sum NTB_{13} \times \lambda TB_{13}}{N} = \frac{4995 \times 0,005}{21047} = 0,00118663 \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T18} = \frac{\sum NTB_{18} \times UTB_{18}}{N} = \frac{4995 \times 0,05}{21047} = 0,011866 \text{ jam/tahun}$$

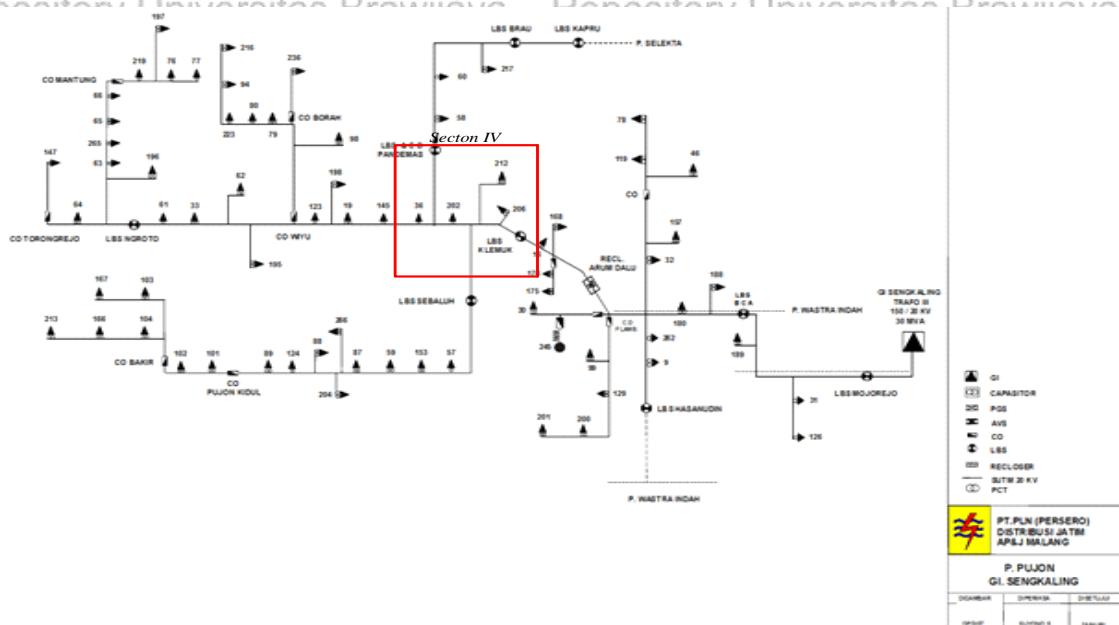
Tabel 5.26 Indeks keandalan section III

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section III	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T7	0,00118663	0,011866
2	Trafo T8	0,00118663	0,011866
3	Trafo T9	0,00118663	0,011866
4	Trafo T10	0,00118663	0,011866
5	Trafo T11	0,00118663	0,011866
6	Trafo T12	0,00118663	0,011866
7	Trafo T13	0,00118663	0,011866

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan	Section III
		SAIFI	SAIDI
8	Trafo T14	0,00118663	0,011866
9	Trafo T15	0,00118663	0,011866
10	Trafo T16	0,00118663	0,011866
		<b>Indeks Keandalan Section III</b>	
11	Trafo T17	0,00118663	0,011866
12	Trafo T18	0,00118663	0,011866
13	Trafo T19	0,00118663	0,011866
14	Trafo T20	0,00118663	0,011866
15	Trafo T21	0,00118663	0,011866
16	Trafo T22	0,00118663	0,011866
17	Trafo T3	0,00118663	0,01186
18	Trafo T24	0,00118663	0,01186
19	Trafo T25	0,00118663	0,01186
20	Trafo T51	0,00118663	0,08324
21	Sectionalizer S2	0,00071197	0,01488
22	Sectionalizer S3	0,00071197	0,01203
23	Saluran L11	0,01433448	0,24225
24	Saluran L12	0,01552111	0,26230
25	Saluran L13	0,02434964	0,41150
26	Saluran L14	0,03275098	0,55349
27	Saluran L15	0,00503131	0,08502
28	Saluran L16	0,00711978	0,12032
29	Saluran L17	0,02415978	0,40832
30	Saluran L18	0,00598061	0,10107
31	Saluran L19	0,02862151	0,48370
32	Saluran L20	0,03436480	0,58076
33	Saluran L21	0,02406485	0,40669
34	Saluran L22	0,00973036	0,16444
35	Saluran L23	0,03550396	0,60001
36	Saluran L24	0,01385983	0,23423
37	Saluran L25	0,01575844	0,26631
38	Saluran L26	0,01011008	0,17086
39	Saluran L27	0,03208647	0,54226
40	Saluran L28	0,01058473	0,17888
41	Saluran L29	0,04034541	0,68183
42	Saluran L30	0,00593315	0,10027
43	Saluran L31	0,02572613	0,43477
44	Saluran L32	0,00545849	0,09224
45	Saluran L33	0,01699254	0,28717
46	Saluran L34	0,00640780	0,10829
47	Saluran L35	0,01552111	0,26230
48	Saluran L36	0,02601092	0,43958
49	Saluran L76	0,01471421	0,24867
	Total	0,52619917	8,80323

### 5.5.5 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section IV

Pada skenario ini (*section IV*) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario *section IV* dengan menggunakan metode *sectiontechnique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusi nya. Pembagian *section IV* pada Penyulang Pujon disajikan pada gambar 5.17.



Gambar 5.14 Penyulang Pujon *section IV*

Sumber: PT.PLN (Persero) APP Malang

Pada *section IV* jumlah peralatan terdiri dari 15 peralatan distribusi yakni, 4 buah trafo distribusi T26 hingga T29, dua buah *sectionalizer* S3 dan S4, serta 9 buah saluran udara L37 hingga L43, L71 dan L81. Selanjutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechnique* pada *section IV* membuat daftar mode kegagalan. Dari daftar kegagalan ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan peralatan distribusi pada *section IV*.

Pada *section IV* diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama. Karena menggunakan pendekatan *bottom-up* mode kegagalan sub sistem dilihat pengaruhnya terhadap seluruh sistem. Pada skenario ini trafo

distribusi adalah titik beban maka pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain.

Tabel 5.27 Mode kegagalan pada section IV

<b>No</b>	<b>Nama Peralatan</b>	<b>Waktu Pemulihan Sistem</b>		
		<b>Waktu Pemadaman TB</b>	<b>Waktu Pemindahan TB</b>	<b>Waktu Pemindahan TB</b>
1	Trafo T26	Titik Beban TB26	-	-
2	Trafo T27	Titik Beban TB27	-	-
3	Trafo T28	Titik Beban TB28	-	-
4	Trafo T29	Titik Beban TB29	-	-
5	<i>Sectionalizer S3</i>	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
6	<i>Sectionalizer S4</i>	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
7	Saluran L37	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
8	Saluran L38	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
9	Saluran L39	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
10	Saluran L40	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
11	Saluran L41	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
12	Saluran L42	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
13	Saluran L43	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
14	Saluran L71	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51
15	Saluran L91	Titik Beban TB26 - TB50 ; TB52 - TB78	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51	Titik Beban TB1 - TB25 ; TB51

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran ditampilkan oleh tabel 5.28.

Tabel 5.28  $\lambda$  peralatan distribusi section IV

<b>No</b>	<b>Nama Peralatan</b>	<b>Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)</b>	<b>Panjang Tiap Saluran (KM)</b>	<b>Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)</b>
1	Trafo T26	0,005	-	0,005
2	Trafo T27	0,005	-	0,005
3	Trafo T28	0,005	-	0,005
4	Trafo T29	0,005	-	0,005
5	<i>Sectionalizer S3</i>	0,003	-	0,003
6	<i>Sectionalizer S4</i>	0,003	-	0,003
7	Saluran L37	0,2	0,151	0,0302
8	Saluran L38	0,2	0,297	0,0594
9	Saluran L39	0,2	0,147	0,0294
10	Saluran L40	0,2	0,434	0,0868
11	Saluran L41	0,2	0,434	0,0868
12	Saluran L42	0,2	0,194	0,0388
13	Saluran L43	0,2	0,154	0,0308
14	Saluran L71	0,2	0,409	0,0818

15	Saluran L91	0,2	0,296	0,0592
	Total			1,11912

Perhitungan waktu gangguan ( $U$ ) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihan disajikan oleh tabel 5.29.

Tabel 5.29 λ dan worksheet peralatan distribusi section IV

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T26	0,005	10	0,15
2	Trafo T27	0,005	10	0,15
3	Trafo T28	0,005	10	0,15
4	Trafo T29	0,005	10	0,15
5	Sectionalizer S3	0,003	10	0,15
6	Sectionalizer S4	0,003	10	0,15
7	Saluran L37	0,0302	3	0,15
8	Saluran L38	0,0594	3	0,15
9	Saluran L39	0,0294	3	0,15
10	Saluran L40	0,0868	3	0,15
11	Saluran L41	0,0868	3	0,15
12	Saluran L42	0,0388	3	0,15
13	Saluran L43	0,0308	3	0,15
14	Saluran L71	0,0818	3	0,15
15	Saluran L91	0,0592	3	0,15

Tabel 5.30 menyajikan waktu pemulihan peralatan distribusi pada seksi 4.

Tabel 5.30 λ waktu pemulihan peralatan distribusi section IV

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T26	10	0	10
2	Trafo T27	10	0	10
3	Trafo T28	10	0	10
4	Trafo T29	10	0	10
5	Sectionalizer S3	72	0,9	72,9
6	Sectionalizer S4	72	0,9	72,9
7	Saluran L37	56	3,9	59,9
8	Saluran L38	56	3,9	59,9
9	Saluran L39	56	3,9	59,9
10	Saluran L40	56	3,9	59,9
11	Saluran L41	56	3,9	59,9
12	Saluran L42	56	3,9	59,9
13	Saluran L43	56	3,9	59,9
14	Saluran L71	56	3,9	59,9
15	Saluran L91	56	3,9	59,9

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka setiap peralatan distribusi pada masing-masing titik beban dapat di hitung.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada section IV

$$\text{SAIFI} = \frac{\Sigma NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$SAIFI\;T29 = \frac{\Sigma NTB\;29 \times \lambda TB\;29}{N}$$

$$SAIDI = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T27} = \frac{\Sigma NTB\ 27 \times UTB\ 27}{N}$$

$$\frac{125 \times 0,005}{21047} = 2,96954 \times 10^{-5} \text{ kali/tahun}$$

$$= \frac{125 \times 0,05}{21024} = 0,000297 \text{ jam/tahun}$$

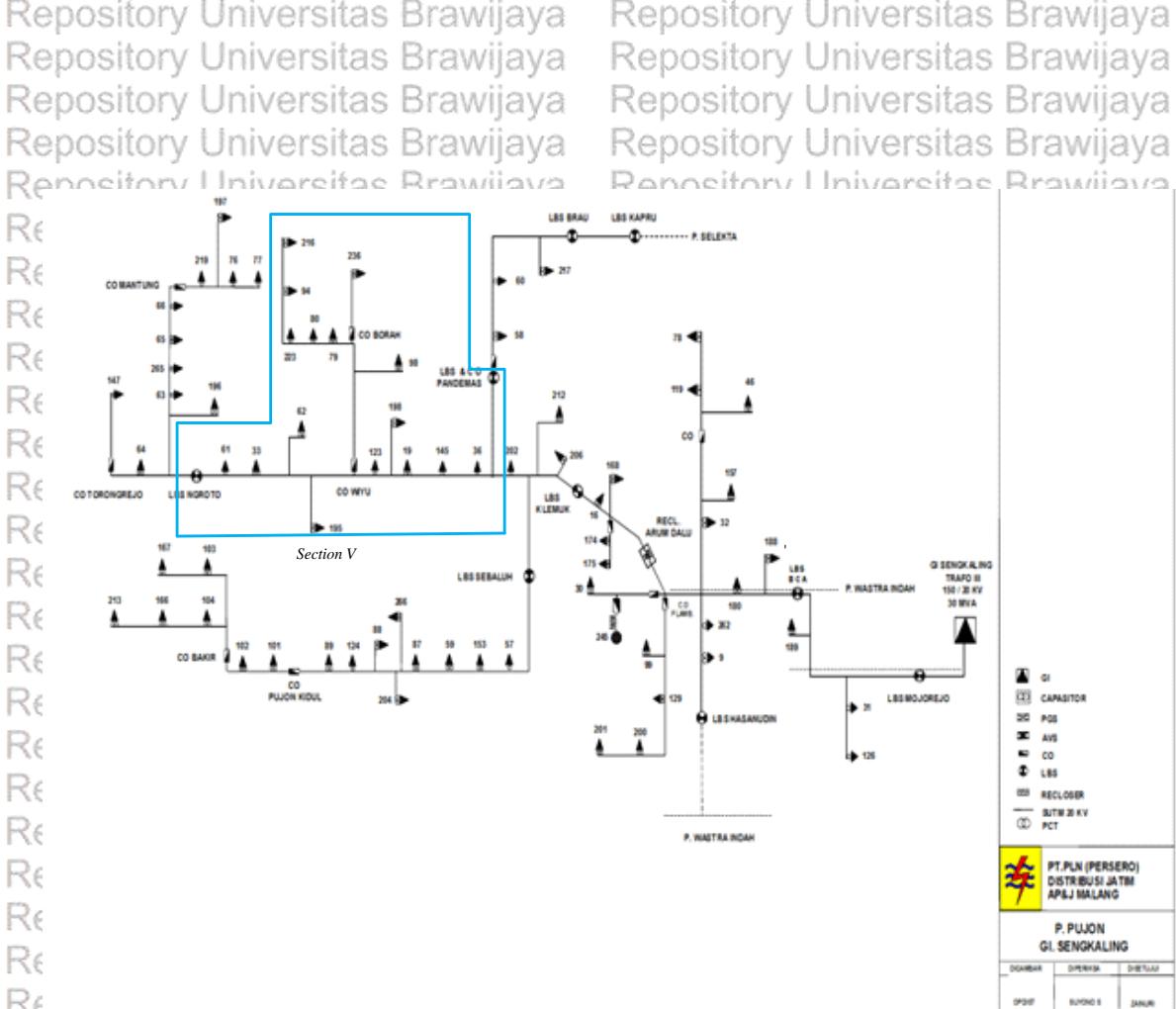
Tabel 5.31 Indeks keandalan section IV

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section IV	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T26	$2,96954 \times 10^{-5}$	0,000297
2	Trafo T27	$2,96954 \times 10^{-5}$	0,000297
3	Trafo T28	$2,96954 \times 10^{-5}$	0,000297
4	Trafo T29	$2,96954 \times 10^{-5}$	0,000297
5	Sectionalizer S3	$1,78173 \times 10^{-5}$	0,001299
6	Sectionalizer S4	$1,78173 \times 10^{-5}$	0,001299
7	Saluran L37	0,00017936	0,010744
8	Saluran L38	0,000352782	0,021132
9	Saluran L39	0,000174609	0,010459
10	Saluran L40	0,000515513	0,030879
11	Saluran L41	0,000515513	0,030879
12	Saluran L42	0,000230437	0,013803
13	Saluran L43	0,000182924	0,010957
14	Saluran L71	0,000485817	0,0291
15	Saluran L91	0,000351594	0,02106
Total		0,003142966	0,1828

### 5.5.6 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section V

Pada skenario ini (*section V*) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario *section V* dengan menggunakan metode *section technique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusi

nya. Pembagian section V pada Penyulang Pujon disajikan oleh gambar 5.18.



Gambar 5.15 Penyalang Pujon section V

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada section V jumlah peralatan terdiri dari 49 peralatan distribusi yakni, 2 buah pemutus Tenaga CB2 dan CB3, 18 buah trafo distribusi T30 hingga T47, dua buah sectionalizer S4 dan S5, serta 27 buah saluran udara L44 hingga L70. Selanjutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechnique* pada section V membuat daftar mode kegagalan. Dari daftar kegagalan ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan peralatan distribusi pada section V.

Pada section V diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama. Karena menggunakan pendekatan *bottom-up* mode kegagalan sub sistem dilihat pengaruhnya terhadap seluruh sistem. Pada skenarion ini trafo distribusi adalah titik beban maka pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain.

Tabel 5.32 Mode kegagalan pada section V

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
1	Trafo T30	Titik Beban TB30	-
2	Trafo T31	Titik Beban TB31	-
3	Trafo T32	Titik Beban TB32	-
4	Trafo T33	Titik Beban TB33	-
5	Trafo T34	Titik Beban TB34	-
6	Trafo T35	Titik Beban TB35	-
7	Trafo T36	Titik Beban TB36	-
8	Trafo T37	Titik Beban TB37	-
9	Trafo T38	Titik Beban TB38	-
10	Trafo T39	Titik Beban TB39	-
11	Trafo T40	Titik Beban TB40	-
12	Trafo T41	Titik Beban TB41	-
13	Trafo T42	Titik Beban TB42	-
14	Trafo T43	Titik Beban TB43	-
15	Trafo T44	Titik Beban TB44	-
16	Trafo T45	Titik Beban TB45	-
17	Trafo T46	Titik Beban TB46	-
18	Trafo T47	Titik Beban TB47	-
19	Sectionalizer S4	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
20	Sectionalizer S5	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
21	Saluran L44	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
22	Saluran L45	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
23	Saluran L46	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
24	Saluran L47	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
25	Saluran L48	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
26	Saluran L49	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
27	Saluran L50	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
28	Saluran L51	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
29	Saluran L52	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
30	Saluran L53	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
31	Saluran L54	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
32	Saluran L55	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
33	Saluran L56	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
34	Saluran L57	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB29 ; TB51
	<b>Nama</b>		

No	Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
35	Saluran L58	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
36	Saluran L59	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
37	Saluran L60	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
37	Saluran L60	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
38	Saluran L61	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
39	Saluran L62	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
40	Saluran L63	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
41	Saluran L64	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
42	Saluran L65	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
43	Saluran L66	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
44	Saluran L67	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
45	Saluran L68	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
46	Saluran L69	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51
47	Saluran L70	Titik Beban TB30 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB29 ; TB51

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran disajikan oleh tabel 5.33.

Tabel 5.33  $\lambda$  peralatan distribusi section V

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T30	0,005	-	0,005
2	Trafo T31	0,005	-	0,005
3	Trafo T32	0,005	-	0,005
4	Trafo T34	0,005	-	0,005
5	Trafo T35	0,005	-	0,005
7	Trafo T36	0,005	-	0,005
8	Trafo T37	0,005	-	0,005
10	Trafo T39	0,005	-	0,005
11	Trafo T40	0,005	-	0,005
12	Trafo T42	0,005	-	0,005
No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan	Panjang Tiap	Frekuensi Kegagalan

		<b>Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)</b>	<b>Saluran (KM)</b>	<b>(kali/kegagalan/tahun)</b>
13	Trafo T43		0,005	-
15	Trafo T44		0,005	-
16	Trafo T45		0,005	-
17	Trafo T46		0,005	-
18	Trafo T47		0,005	-
19	Sectionalizer S4		0,003	-
20	Sectionalizer S5		0,003	-
21	Saluran L44	0,2	0,188	0,0376
22	Saluran L45	0,2	0,949	0,1898
23	Saluran L46	0,2	0,298	0,0596
24	Saluran L47	0,2	0,157	0,0314
25	Saluran L48	0,2	0,293	0,0586
26	Saluran L49	0,2	0,101	0,0202
27	Saluran L50	0,2	0,268	0,0536
28	Saluran L51	0,2	0,204	0,0408
29	Saluran L52	0,2	0,014	0,028
30	Saluran L53	0,2	1,668	0,3336
31	Saluran L54	0,2	0,039	0,078
32	Saluran L55	0,2	0,398	0,0796
33	Saluran L56	0,2	1,786	0,3572
35	Saluran L58	0,2	0,468	0,0936
36	Saluran L59	0,2	0,889	0,1778
37	Saluran L60	0,2	0,913	0,1826
38	Saluran L62	0,2	0,273	0,0546
39	Saluran L63	0,2	0,057	0,0114
41	Saluran L64	0,2	0,027	0,0054
42	Saluran L65	0,2	0,066	0,0132
43	Saluran L66	0,2	0,206	0,0412
45	Saluran L69	0,2	0,274	0,0548
46	Saluran L70	0,2	0,122	0,0244
<b>Total</b>				<b>2.375</b>

Perhitungan waktu gangguan ( $U$ ) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan

dengan waktu pemulihannya disajikan oleh tabel 5.34.

Tabel 5.34  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi *section V*

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T30	0,005	10	0,15
2	Trafo T31	0,005	10	0,15
3	Trafo T32	0,005	10	0,15
4	Trafo T33	0,005	10	0,15
5	Trafo T34	0,005	10	0,15
6	Trafo T35	0,005	10	0,15

			(jam)	(jam)
7	Trafo T36		0,005	10
8	Trafo T37		0,005	10
9	Trafo T38		0,005	10
11	Trafo T41		0,005	10
13	Trafo T42		0,005	10
14	Trafo T43		0,005	10
15	Trafo T44		0,005	10
16	Trafo T46		0,005	10
17	Trafo T47		0,005	10
19	Sectionalizer S4		0,003	10
21	Saluran L44		0,0376	3
22	Saluran L45		0,1898	3
23	Saluran L46		0,0596	3
24	Saluran L47		0,314	3
25	Saluran L48		0,0586	3
26	Saluran L49		0,0202	3
27	Saluran L50		0,0536	3
28	Saluran L51		0,0408	3
29	Saluran L52		0,028	3
30	Saluran L53		0,3336	3
31	Saluran L54		0,078	3
32	Saluran L55		0,0796	3
33	Saluran L56		0,3572	3
34	Saluran L57		0,023	3
35	Saluran L58		0,0936	3
36	Saluran L59		0,1778	3
37	Saluran L60		0,1826	3
38	Saluran L61		0,1148	3
39	Saluran L62		0,0546	3
40	Saluran L63		0,0114	3
41	Saluran L64		0,0054	3
42	Saluran L65		0,0132	3
43	Saluran L66		0,0412	3
44	Saluran L67		0,0756	3
45	Saluran L68		0,0286	3
46	Saluran L70		0,0244	3

Tabel 5.35 menyajikan waktu pemulihan peralatan distribusi pada seksi 5.

Tabel 5.35 Waktu pemulihan peralatan distribusi section V

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T30	10	0	10
2	Trafo T31	10	0	10
3	Trafo T32	10	0	10
4	Trafo T33	10	0	10
5	Trafo T34	10	0	10
6	Trafo T35	10	0	10
7	Trafo T36	10	0	10
8	Trafo T37	10	0	10

		(jam)	(jam)
9	Trafo T38	10	0
10	Trafo T39	10	0
11	Trafo T40	10	0
12	Trafo T41	10	0
13	Trafo T42	10	0
14	Trafo T43	10	0
15	Trafo T44	10	0
16	Trafo T45	10	0
17	Trafo T46	10	0
18	Trafo T47	10	0
19	Sectionalizer S4	52	3,9
20	Sectionalizer S5	48	4,5
21	Saluran L44	44	4,5
22	Saluran L45	44	4,5
23	Saluran L46	44	4,5
24	Saluran L47	44	4,5
25	Saluran L48	44	4,5
26	Saluran L50	44	4,5
27	Saluran L51	44	4,5
28	Saluran L52	44	4,5
29	Saluran L54	44	4,5
30	Saluran L55	44	4,5
31	Saluran L56	44	4,5
33	Saluran L57	44	4,5
34	Saluran L58	44	4,5
35	Saluran L59	44	4,5
36	Saluran L60	44	4,5
37	Saluran L61	44	4,5
38	Saluran L62	44	4,5
39	Saluran L63	44	4,5
40	Saluran L64	44	4,5
41	Saluran L65	44	4,5
42	Saluran L66	44	4,5
43	Saluran L67	44	4,5
44	Saluran L68	44	4,5
45	Saluran L69	44	4,5
46	Saluran L70	44	4,5

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka peralatan pada seksi 5 dapat

dihitung berdasarkan titik beban.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada section V

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$\text{SAIFI T45} = \frac{\sum NTB 45 \times \lambda TB 14}{N} = \frac{6406 \times 0,005}{21047} = 0,001521832 \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T45} = \frac{\sum NTB 45 \times UTB 45}{N} = \frac{6406 \times 0,05}{21047} = 0,015218 \text{ jam/tahun}$$

Tabel 5.36 Indeks keandalan *section V*

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan <i>Section V</i>	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T30	0,001521832	0,015218
2	Trafo T31	0,001521832	0,015218
3	Trafo T32	0,001521832	0,015218
4	Trafo T33	0,001521832	0,015218
5	Trafo T34	0,001521832	0,015218
6	Trafo T35	0,001521832	0,015218
7	Trafo T36	0,001521832	0,015218
8	Trafo T37	0,001521832	0,015218
9	Trafo T38	0,001521832	0,015218
10	Trafo T39	0,001521832	0,015218
11	Trafo T40	0,001521832	0,015218
12	Trafo T41	0,001521832	0,015218
13	Trafo T42	0,001521832	0,015218
14	Trafo T43	0,001521832	0,015218
15	Trafo T44	0,001521832	0,015218
16	Trafo T45	0,001521832	0,015218
17	Trafo T46	0,001521832	0,015218
18	Trafo T47	0,001521832	0,015218
19	Sectionalizer S4	0,000913099	0,048303
20	Sectionalizer S5	0,000913099	0,044285
21	Saluran L44	0,011444177	0,555043
22	Saluran L45	0,057768746	2,801784
23	Saluran L46	0,018140239	0,879802
24	Saluran L47	0,095571055	4,635196
25	Saluran L48	0,017835872	0,86504
26	Saluran L49	0,006148202	0,298188
27	Saluran L50	0,01631404	0,791231
28	Saluran L51	0,01241815	0,60228
29	Saluran L52	0,00852226	0,41333
30	Saluran L53	0,101536637	4,924527
31	Saluran L54	0,023740581	1,151418
32	Saluran L55	0,024227567	1,175037
33	Saluran L56	0,108719685	5,272905
34	Saluran L57	0,007000428	0,339521
35	Saluran L58	0,028488697	1,381702
36	Saluran L59	0,054116349	2,624643
37	Saluran L60	0,055577308	2,695499
38	Saluran L61	0,034941265	1,694651
39	Saluran L62	0,016618406	0,805993
40	Saluran L63	0,003469777	0,168284
41	Saluran L64	0,001643579	0,079714
42	Saluran L65	0,004017637	0,194855
43	Saluran L66	0,012539896	0,608185

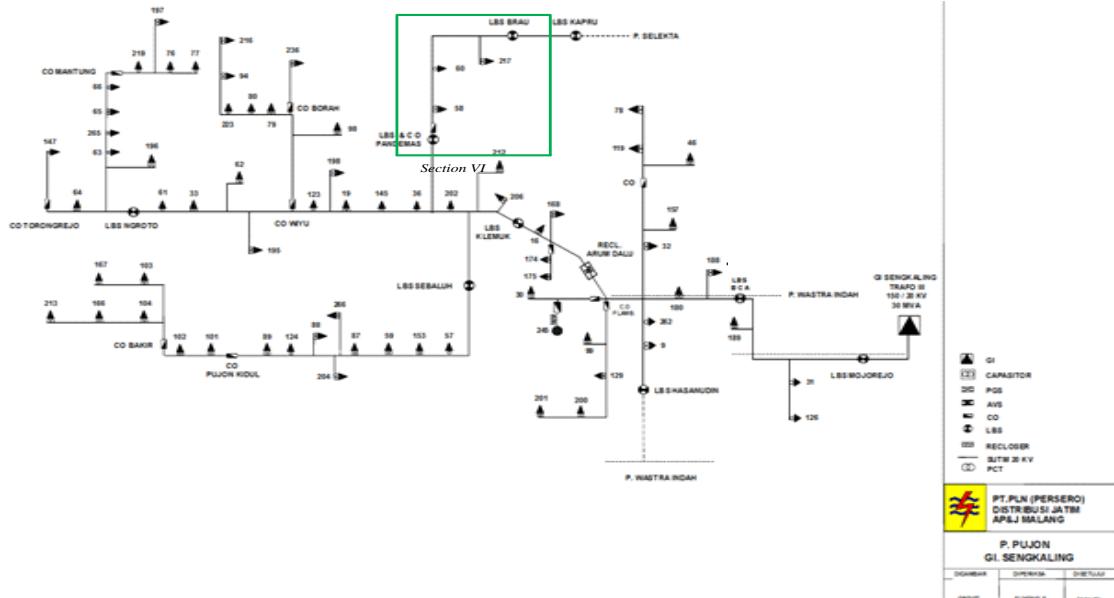
Indeks Keandalan *Section V*

SAIFI SAIDI

44	Saluran L67	0,023010101	1,11599
45	Saluran L68	0,00870488	0,422187
46	Saluran L69	0,01667928	0,808945
47	Saluran L70	0,007426541	0,360187
Total		0,805841	38,03266

### 5.5.7 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section VI

Dari section VI ini nanti akan ditampilkan daftar mode kegagalan peralatan distribusi yang ada pada section VI akan dihitung dan ditampilkan frekuensi kegagalan peralatan distribusi pada section VI Penyulang Pujon selama satu tahun berdasarkan standar SPLN No.59: 1985. Waktu pemulihan (waktu pemadaman dan waktu pemindahan) peralatan distribusi pada section VI Penyulang Pujon akan dihitung dan ditampilkan nilai indeks keandalan SAIDI dan SAIDI. Pembagian section VI pada Penyulang Pujon disajikan oleh gambar 5.19.



Gambar 5.16 Penyulang Pujon dengan Section VI

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada section VI terdiri dari 9 peralatan distribusi yaitu satu buah tiga buah trafo distribusi T48, T49 dan T50, dua buah sectionalizer S4 dan S6 serta empat buah saluran udara L72, L73, L74 dan L5. Langkah selanjutnya membuat skenario gangguan pada CB, dapat dilihat seluruh titik beban pada Penyulang Pujon akan mengalami waktu pemadaman (*repair time*) sehingga tidak ada aliran distribusi listrik yang mengalir pada Penyulang Pujon. Pada skenario ini

diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada pada *section VI* selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama karena. Dilihat pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain. Daftar mode kegagalan pada *section VI* seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 5.37 Mode kegagalan pada *section VI*

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
1	Trafo T48	Titik Beban TB48	-
2	Trafo T49	Titik Beban TB48	-
3	Trafo T50	Titik Beban TB48	-
4	Sectionalizer S5	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51
5	Sectionalizer S6	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51
6	Saluran L72	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52 – TB78	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51
7	Saluran L73	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51
8	Saluran L74	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51
9	Saluran L75	Titik Beban TB48 – TB50 ; TB52	Titik Beban TB1 – TB47 ; TB51

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran disajikan oleh gambar 5.38.

Tabel 5.38  $\lambda$  Peralatan distribusi *section VI*

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T48	0,005	-	0,005
2	Trafo T49	0,005	-	0,005
3	Trafo T50	0,005	-	0,005
4	Sectionalizer S5	0,003	-	0,003
5	Sectionalizer S6	0,003	-	0,003
6	Saluran L72	0,2	0,286	0,057
7	Saluran L73	0,2	0,915	0,183
9	Saluran L75	0,2	0,143	0,028
Total				0,435

Perhitungan waktu gangguan (U) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihannya lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihannya disajikan oleh tabel 5.39.

Tabel 5.39  $\lambda$  dan worksheet peralatan distribusi section VI

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T48	0,005	10	0,15
2	Trafo T49	0,005	10	0,15
3	Trafo T50	0,005	10	0,15
4	Sectionalizer S5	0,003	10	0,15
5	Sectionalizer S6	0,003	10	0,15
6	Saluran L72	0,0572	3	0,15
7	Saluran L73	0,183	3	0,15
8	Saluran L74	0,1454	3	0,15
9	Saluran L75	0,0286	3	0,15

Tabel 5.40 menyajikan data waktu pemulihan peralatan distribusi pada seksi 6.

Tabel 5.40  $\lambda$  waktu pemulihan peralatan distribusi section VI

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T48	10	0	10
2	Trafo T49	10	0	10
3	Trafo T50	10	0	10
4	Sectionalizer S5	52	3,9	55,9
5	Sectionalizer S6	52	3,9	55,9
6	Saluran L72	60	7,2	67,2
7	Saluran L73	60	7,2	67,2
8	Saluran L74	60	7,2	67,2
9	Saluran L7	60	7,2	67,2

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka nilai setiap peralatan pada seksi 6 dapat dihitung berdasarkan titik beban.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada section VI

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$\text{SAIFI T50.} = \frac{\sum NTB50 \times \lambda TB50}{N} = \frac{898 \times 0,005}{21047} = 0,000213332 \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T50} = \frac{\sum NTB50 \times UTB50}{N} = \frac{898 \times 0,05}{21047} = 0,00213332 \text{ jam/tahun}$$

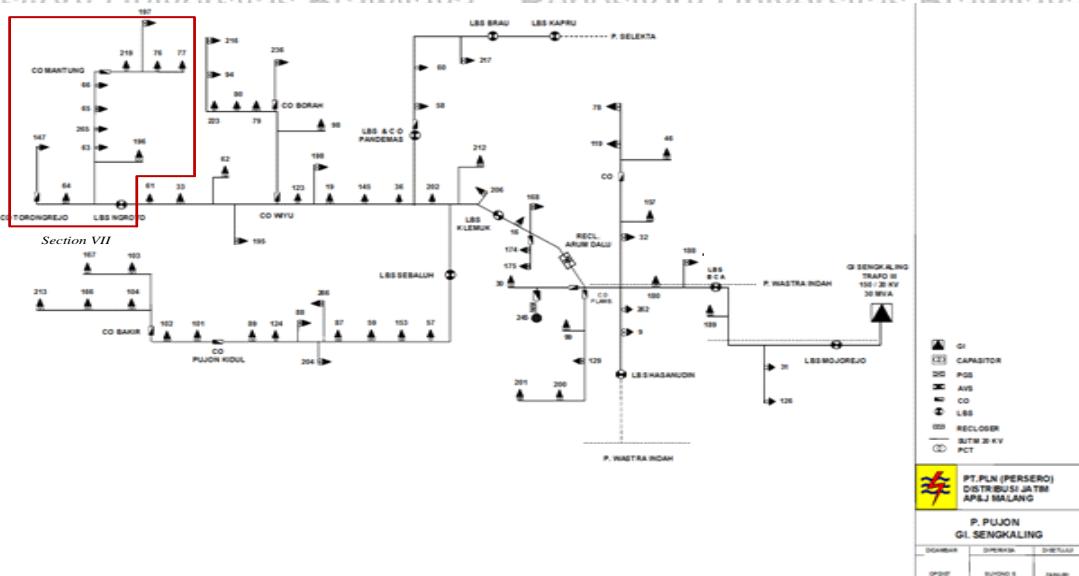
Tabel 5.41 Indeks keandalan section VI

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan Section VI	
		SAIFI	SAIDI

1	Trafo T48	0,000213332	0,002133
2	Trafo T49	0,000213332	0,002133
3	Trafo T50	0,000213332	0,002133
4	<i>Sectionalizer S5</i>	0,000127999	0,007155
5	<i>Sectionalizer S6</i>	0,000127999	0,003866
6	Saluran L72	0,002440519	0,164003
7	Saluran L73	0,007807954	0,524694
8	Saluran L74	0,006203696	0,416888
9	Saluran L75	0,001220259	0,082001
Total		0,018568423	1,205008

### 5.5.8 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting Section VII

Pada skenario ini (*section VII*) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario *section VII* dengan menggunakan metode *sectiontechnique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusinya. Pembagian *section VII* pada Penyulang Pujon disajikan oleh gambar 5.20.



Gambar 5.17 Penyulang Pujon *section VII*

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada *section VII* jumlah peralatan terdiri dari 26 peralatan distribusi yakni, 11 buah trafo distribusi T52 hingga T62, satu buah *sectionalizer S5* serta 14 buah saluran udara L77 hingga L90. Selanjutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechnique* pada *section VII* membuat daftar mode kegagalan. Dari daftar kegagalan ini dapat diketahui titik-titik beban mana saja yang mengalami dampak gangguan peralatan distribusi pada *section VII*.

Pada section VII diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama. Karena menggunakan pendekatan *bottom-up* mode kegagalan sub sistem dilihat pengaruhnya terhadap seluruh sistem. Pada skenario ini trafo distribusi adalah titik beban maka pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain.

Tabel 5.42 Mode kegagalan pada section VII

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
1	Trafo T52	Titik Beban TB52	-
2	Trafo T53	Titik Beban TB53	-
3	Trafo T54	Titik Beban TB54	-
4	Trafo T55	Titik Beban TB55	-
5	Trafo T56	Titik Beban TB56	-
6	Trafo T57	Titik Beban TB57	-
7	Trafo T58	Titik Beban TB58	-
8	Trafo T59	Titik Beban TB59	-
9	Trafo T60	Titik Beban TB60	-
10	Trafo T61	Titik Beban TB61	-
11	Trafo T62	Titik Beban TB62	-
12	Sectionalizer S7	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
13	Saluran L77	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
14	Saluran L78	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
15	Saluran L79	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
16	Saluran L80	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
17	Saluran L81	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
18	Saluran L82	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
19	Saluran L83	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
20	Saluran L84	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
21	Saluran L85	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
22	Saluran L86	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
23	Saluran L87	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
24	Saluran L88	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
25	Saluran L89	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51
26	Saluran L90	Titik Beban TB52 – TB78	Titik Beban TB1 - TB51

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran sajikan oleh tabel 5.43.

Tabel 5.43 λ Peralatan distribusi section VII

		Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Saluran (KM)	(kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T52		0,005	0,005
2	Trafo T53		0,005	0,005
3	Trafo T54		0,005	0,005
4	Trafo T55		0,005	0,005
5	Trafo T56		0,005	0,005
6	Trafo T57		0,005	0,005
7	Trafo T58		0,005	0,005
8	Trafo T59		0,005	0,005
9	Trafo T60		0,005	0,005
10	Trafo T61		0,005	0,005
11	Trafo T62		0,005	0,005
12	Sectionalizer S7	0,003		0,003
13	Saluran L77	0,2	0,603	0,1206
14	Saluran L78	0,2	0,192	0,0384
15	Saluran L79	0,2	0,168	0,0336
16	Saluran L80	0,2	0,018	0,036
17	Saluran L81	0,2	1,192	0,2384
18	Saluran L82	0,2	0,292	0,0584
19	Saluran L83	0,2	0,255	0,051
20	Saluran L84	0,2	0,999	0,1998
21	Saluran L85	0,2	0,139	0,0278
22	Saluran L86	0,2	1,999	0,3998
23	Saluran L87	0,2	0,107	0,0214
24	Saluran L88	0,2	0,545	0,109
25	Saluran L89	0,2	0,411	0,0822
26	Saluran L90	0,2	1,268	0,2536
Total				1,728

Perhitungan waktu gangguan ( $U$ ) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihan, lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihannya ditampilkan oleh tabel 5.44.

Tabel 5.44  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi *section VII*

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T52	0,005	10	0,15
2	Trafo T53	0,005	10	0,15
3	Trafo T54	0,005	10	0,15
4	Trafo T55	0,005	10	0,15
5	Trafo T56	0,005	10	0,15
6	Trafo T57	0,005	10	0,15
7	Trafo T58	0,005	10	0,15
8	Trafo T59	0,005	10	0,15
No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)

9	Trafo T60	0,005	10	0,15
10	Trafo T61	0,005	10	0,15
11	Trafo T62	0,005	10	0,15
12	Sectionalizer S7	0,005	10	0,15
13	Saluran L77	0,1206	3	0,15
14	Saluran L78	0,0384	3	0,15
15	Saluran L79	0,0336	3	0,15
16	Saluran L80	0,036	3	0,15
17	Saluran L81	0,2384	3	0,15
18	Saluran L82	0,0584	3	0,15
19	Saluran L83	0,051	3	0,15
20	Saluran L84	0,1998	3	0,15
21	Saluran L85	0,0278	3	0,15
22	Saluran L86	0,3998	3	0,15
23	Saluran L87	0,0214	3	0,15
24	Saluran L88	0,109	3	0,15
25	Saluran L89	0,0822	3	0,15
26	Saluran L90	0,2536	3	0,15

Pada tabel 5.45 menyajikan data waktu pemulihan perlatan distribusi pada seksi 7.

Tabel 5.45 Waktu pemulihan peralatan distribusi section VII

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T52	10	0	10
2	Trafo T53	10	0	10
3	Trafo T54	10	0	10
4	Trafo T55	10	0	10
5	Trafo T56	10	0	10
6	Trafo T57	10	0	10
7	Trafo T58	10	0	10
8	Trafo T59	10	0	10
9	Trafo T60	10	0	10
10	Trafo T61	10	0	10
11	Trafo T62	10	0	10
12	Sectionalizer S7	48	4,5	48
13	Saluran L77	41	7,65	48,65
14	Saluran L78	41	7,65	48,65
15	Saluran L79	41	7,65	48,65
16	Saluran L80	41	7,65	48,65
17	Saluran L81	41	7,65	48,65
18	Saluran L82	41	7,65	48,65
19	Saluran L83	41	7,65	48,65
20	Saluran L84	41	7,65	48,65
21	Saluran L85	41	7,65	48,65
22	Saluran L86	41	7,65	48,65
23	Saluran L87	41	7,65	48,65
24	Saluran L88	41	7,65	48,65
25	Saluran L89	41	7,65	48,65
26	Saluran L90	41	7,65	48,65

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka dapat dihitung nilai indeks berdasarkan titik beban setiap peralatan.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada *section VII*

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$\text{SAIFI T55} = \frac{\sum NTB 55 \times \lambda TB 55}{N}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDI T55} = \frac{\sum NTB 55 \times UTB 55}{N}$$

$$= \frac{3324 \times 0,005}{21047} = 0,000789661 \text{ kali/tahun}$$

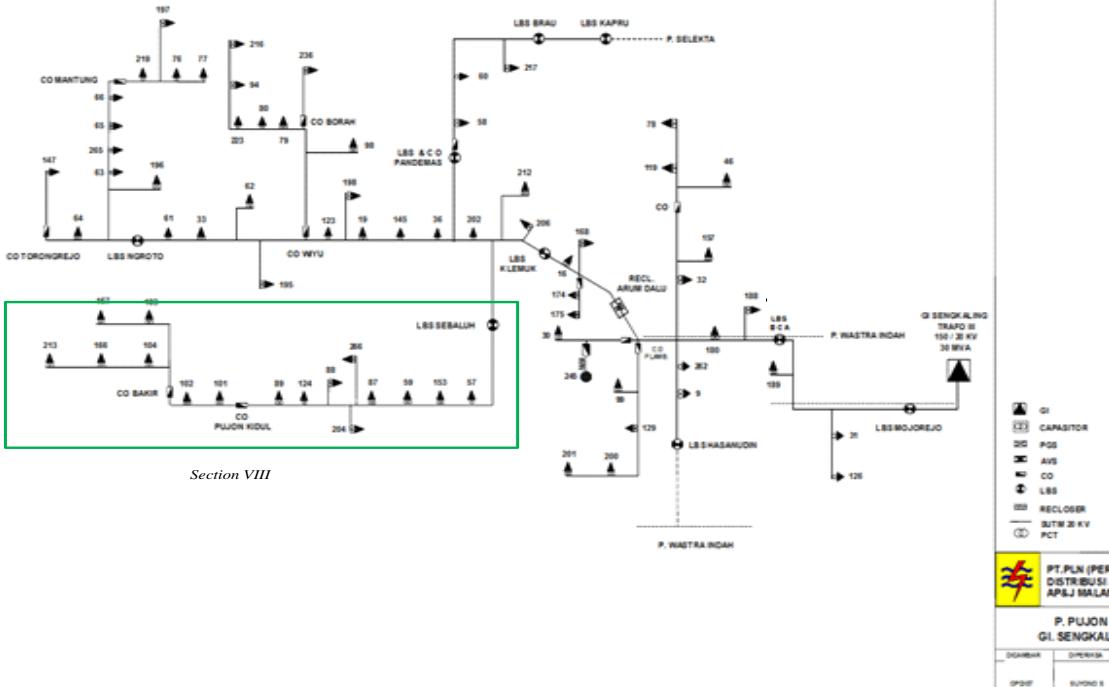
$$= \frac{3324 \times 0,05}{21047} = 0,007897 \text{ jam/tahun}$$

Tabel 5.46 Indeks keandalan *section VII*

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan <i>Section VII</i>	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T52	0,000789661	0,615936
2	Trafo T53	0,000789661	0,615936
3	Trafo T54	0,000789661	0,007897
4	Trafo T55	0,000789661	0,007897
5	Trafo T56	0,000789661	0,007897
6	Trafo T57	0,000789661	0,007897
7	Trafo T58	0,000789661	0,007897
8	Trafo T59	0,000789661	0,007897
9	Trafo T60	0,000789661	0,007897
10	Trafo T61	0,000789661	0,007897
11	Trafo T62	0,000789661	0,007897
12	Sectionalizer S7	0,000789661	0,037904
13	Saluran L77	0,019046629	0,926618
14	Saluran L78	0,006064598	0,295043
15	Saluran L79	0,005306523	0,258162
16	Saluran L80	0,005685561	0,276603
17	Saluran L81	0,037651048	1,831723
18	Saluran L82	0,009223243	0,448711
19	Saluran L83	0,008054545	0,391854
20	Saluran L84	0,031554863	1,535144
21	Saluran L85	0,004390516	0,213599
22	Saluran L86	0,063141312	3,071825
23	Saluran L87	0,003379751	0,164425
24	Saluran L88	0,017214615	0,837491
25	Saluran L89	0,012982031	0,631576
26	Saluran L90	0,040051618	1,948511
Total		0,273222787	14,17213

### 5.5.9 Perhitungan Indeks Keandalan dengan data Eksisting *Section VIII*

Pada skenario ini (*section VIII*) dimana wilayah pembagian melingkupi sebagian sistem jaringan distribusi Penyulang Pujon. Pada skenario *section VIII* dengan menggunakan metode *sectiontechnique* akan ditampilkan perhitungan indeks SAIFI dan SAIDI peralatan distribusinya. Pembagian *section VIII* pada Penyulang Pujon disajikan pada gambar 5.21.



Gambar 5.18 Penyulang Pujon *section VIII*

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada *section VIII* jumlah peralatan terdiri dari 43 peralatan distribusi yakni, 16 buah trafo distribusi T63 hingga T78, satu buah *sectionalizer* S7 serta 26 buah saluran udara L92 hingga L117. Selanjutnya melakukan analisis dengan metode *sectiontechnique* pada *section VIII* membuat daftar mode kegagalan. Dari daftar kegagalan ini dapat diketahui titik-titik beban manapun saja yang mengalami dampak gangguan peralatan distribusi pada *section VIII*.

Misalkan gangguan yang disebabkan oleh saluran udara 104, dapat dilihat tidak semua peralatan distribusi pada Penyulang Pujon akan mengalami waktu pemadaman atau *repair*. Hal ini disebabkan hanya titik beban yang ada pada *section VIII* yang mengalami waktu pemadaman. Sedangkan trafo distribusi T1 – T62 atau titik beban TB1 – TB62 hanya mengalami waktu pemindahan *switching time* yang waktunya relative lebih singkat dibanding

waktu pemadaman atau *repair time*. Dimana T1 – TB62 adalah titik-titik beban yang berada pada seksi 1 sampai 7.

Pada *section VIII* diasumsikan semua peralatan distribusi yang ada selain trafo distribusi memiliki waktu pemulihan yang sama. Karena menggunakan pendekatan *bottom-up* mode kegagalan sub sistem dilihat pengaruhnya terhadap seluruh sistem. Pada skenarion ini trafo distribusi adalah titik beban maka pengaruhnya hanya pada titik-titik beban masing-masing bukan pada titik-titik beban yang lain.

Tabel 5.47 Mode kegagalan pada *section VIII*

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
1	Trafo T63	Titik Beban TB63	-
2	Trafo T64	Titik Beban TB64	-
3	Trafo T65	Titik Beban TB65	-
4	Trafo T66	Titik Beban TB66	-
5	Trafo T67	Titik Beban TB67	-
6	Trafo T68	Titik Beban TB68	-
7	Trafo T69	Titik Beban TB69	-
8	Trafo T70	Titik Beban TB70	-
9	Trafo T71	Titik Beban TB71	-
10	Trafo T72	Titik Beban TB72	-
11	Trafo T73	Titik Beban TB73	-
12	Trafo T74	Titik Beban TB74	-
13	Trafo T75	Titik Beban TB75	-
14	Trafo T76	Titik Beban TB76	-
15	Trafo T77	Titik Beban TB77	-
16	Trafo T78	Titik Beban TB78	-
17	Sectionalizer S8	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
18	Saluran L92	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
19	Saluran L93	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
20	Saluran L94	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
21	Saluran L95	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
22	Saluran L96	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
23	Saluran L97	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
24	Saluran L98	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
25	Saluran L99	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
26	Saluran L100	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
27	Saluran L101	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
28	Saluran L102	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
29	Saluran L103	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
30	Saluran L104	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
31	Saluran L105	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
32	Saluran L106	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
33	Saluran L107	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
34	Saluran L108	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
35	Saluran L109	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
36	Saluran L110	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
37	Saluran L111	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
38	Saluran L112	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62

No	Nama Peralatan	Waktu Pemulihan Sistem	
		Waktu Pemadaman TB	Waktu Pemindahan TB
39	Saluran L113	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
40	Saluran L114	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
41	Saluran L115	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
42	Saluran L116	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62
43	Saluran L117	Titik Beban TB63 – TB78	Titik Beban TB1 – TB62

Tahapan berikutnya adalah penjumlahan poin kegagalan frekuensi ( $\lambda$ ) pada setiap TB dan nilai total laju kegagalan berdampak pada setiap TB dan total laju kegagalan saluran di sajikan pada tabel 5.48.

Tabel 5.48 $\lambda$  Peralatan distribusi section VIII

No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
1	Trafo T63	0,005	-	0,005
2	Trafo T64	0,005	-	0,005
3	Trafo T65	0,005	-	0,005
4	Trafo T66	0,005	-	0,005
5	Trafo T67	0,005	-	0,005
6	Trafo T68	0,005	-	0,005
7	Trafo T69	0,005	-	0,005
8	Trafo T70	0,005	-	0,005
9	Trafo T71	0,005	-	0,005
10	Trafo T72	0,005	-	0,005
11	Trafo T73	0,005	-	0,005
12	Trafo T74	0,005	-	0,005
13	Trafo T75	0,005	-	0,005
14	Trafo T76	0,005	-	0,005
15	Trafo T77	0,005	-	0,005
16	Trafo T78	0,005	-	0,005
17	Sectionalizer S8	0,003	-	0,003
18	Saluran L92	0,2	0,471	0,0942
19	Saluran L93	0,2	0,341	0,0682
20	Saluran L94	0,2	0,947	0,1894
21	Saluran L95	0,2	0,57	0,114
22	Saluran L96	0,2	0,443	0,0886
23	Saluran L97	0,2	0,4	0,08
24	Saluran L98	0,2	0,806	0,1612
25	Saluran L99	0,2	0,157	0,0314
26	Saluran L100	0,2	0,137	0,0274
27	Saluran L101	0,2	0,455	0,091
29	Saluran L103	0,2	1,691	0,3382
30	Saluran L104	0,2	1,083	0,2166
31	Saluran L105	0,2	1,201	0,2402
33	Saluran L107	0,2	0,909	0,1818
34	Saluran L108	0,2	0,491	0,0982
35	Saluran L109	0,2	1,323	0,2646



No	Nama Peralatan	Laju Kegagalan Peralatan (kali/km/tahun atau kali/unit/tahun)	Panjang Tiap Saluran (KM)	Frekuensi Kegagalan (kali/kegagalan/tahun)
36	Saluran L110	0,2	1,281	0,2562
37	Saluran L111	0,2	0,769	0,1538
38	Saluran L112	0,2	0,001	0,0002
39	Saluran L113	0,2	0,001	0,0002
40	Saluran L114	0,2	2,042	0,4084
41	Saluran L115	0,2	0,603	0,1206
42	Saluran L116	0,2	0,097	0,0194
43	Saluran L117	0,2	0,046	0,0092
Total				3,488

Perhitungan waktu gangguan (U) tiap *load point* dan hasil total jumlah perkalian trafo gangguan dan waktu pemulihannya lamanya gangguan dari total penjumlahan trafo gangguan dengan waktu pemulihannya disajikan oleh tabel 5.49.

Tabel 5.49  $\lambda$  dan *worksheet* peralatan distribusi section VIII

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
1	Trafo T63	0,005	10	0,15
2	Trafo T64	0,005	10	0,15
3	Trafo T65	0,005	10	0,15
4	Trafo T66	0,005	10	0,15
5	Trafo T67	0,005	10	0,15
7	Trafo T69	0,005	10	0,15
8	Trafo T70	0,005	10	0,15
9	Trafo T71	0,005	10	0,15
11	Trafo T73	0,005	10	0,15
12	Trafo T74	0,005	10	0,15
13	Trafo T75	0,005	10	0,15
14	Trafo T76	0,005	10	0,15
15	Trafo T77	0,005	10	0,15
16	Trafo T78	0,005	10	0,15
17	Sectionalizer S8	0,003	3	0,15
18	Saluran L92	0,0942	3	0,15
19	Saluran L93	0,0682	3	0,15
20	Saluran L94	0,1894	3	0,15
21	Saluran L95	0,114	3	0,15
22	Saluran L96	0,0886	3	0,15
23	Saluran L97	0,08	3	0,15
24	Saluran L98	0,1612	3	0,15
25	Saluran L99	0,0314	3	0,15
26	Saluran L100	0,0274	3	0,15
27	Saluran L101	0,091	3	0,15
28	Saluran L102	0,0932	3	0,15
29	Saluran L103	0,3382	3	0,15
30	Saluran L104	0,2166	3	0,15

No	Nama Peralatan	$\lambda$ (kali/kegagalan/tahun)	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)
31	Saluran L105	0,2402	3	0,15
32	Saluran L106	0,0588	3	0,15
33	Saluran L107	0,1818	3	0,15
34	Saluran L108	0,0982	3	0,15
35	Saluran L109	0,2646	3	0,15
36	Saluran L110	0,2562	3	0,15
37	Saluran L111	0,1538	3	0,15
38	Saluran L112	0,0002	3	0,15
39	Saluran L113	0,0002	3	0,15
40	Saluran L114	0,4084	3	0,15
42	Saluran L116	0,0194	3	0,15
43	Saluran L117	0,0092	3	0,15

Waktu pemulihan peralatan distribusi perlatan disajikan oleh tabel 5.50.

Tabel 5.50  $\lambda$  waktu pemulihan peralatan distribusi section VIII

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
1	Trafo T63	80	0	80
2	Trafo T64	80	0	80
3	Trafo T65	10	0	10
4	Trafo T66	10	0	10
5	Trafo T67	10	0	10
6	Trafo T68	10	0	10
7	Trafo T69	10	0	10
8	Trafo T70	10	0	10
9	Trafo T71	10	0	10
10	Trafo T72	10	0	10
11	Trafo T73	10	0	10
12	Trafo T74	10	0	10
13	Trafo T75	10	0	10
14	Trafo T76	10	0	10
15	Trafo T77	10	0	10
16	Trafo T78	10	0	10
17	Sectionalizer S8	60	7,8	67,8
18	Saluran L92	48	9,15	57,15
19	Saluran L93	48	9,15	57,15
20	Saluran L94	48	9,15	57,15
21	Saluran L95	48	9,15	57,15
22	Saluran L96	48	9,15	57,15
23	Saluran L97	48	9,15	57,15
24	Saluran L98	48	9,15	57,15
26	Saluran L100	48	9,15	57,15
27	Saluran L101	48	9,15	57,15
28	Saluran L102	48	9,15	57,15
29	Saluran L103	48	9,15	57,15
30	Saluran L104	48	9,15	57,15
31	Saluran L105	48	9,15	57,15
33	Saluran L107	48	9,15	57,15
34	Saluran L108	48	9,15	57,15

No	Nama Peralatan	Waktu Pemadaman (jam)	Waktu Pemindahan (jam)	Total Waktu (jam)
35	Saluran L109	48	9,15	57,15
36	Saluran L110	48	9,15	57,15
37	Saluran L111	48	9,15	57,15
38	Saluran L112	48	9,15	57,15
39	Saluran L113	48	9,15	57,15
40	Saluran L114	48	9,15	57,15
41	Saluran L115	48	9,15	57,15
42	Saluran L116	48	9,15	57,15
43	Saluran L117	48	9,15	57,15

Dengan menggunakan persamaan SAIFI dan SAIDI maka dapat dihitung peralatan

setiap titik berdasarkan titik beban.

Contoh perhitungan nilai indeks SAIFI dan SAIDI pada *Section VIII*

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum NTB \times \lambda TB}{N}$$

$$\text{SAIFI T69} = \frac{\sum NTB 69 \times \lambda TB 69}{N} = \frac{4373 \times 0,005}{21047} = 0,001038865 \text{ kali/tahun}$$

$$\text{SAIDI} = \frac{\sum NTB \times UTB}{N}$$

$$\text{SAIDIT71} = \frac{\sum NTB 71 \times UTB 71}{N} = \frac{4373 \times 0,05}{21047} = 0,010389 \text{ jam/tahun}$$

Tabel 5.51 Indeks keandalan *section VIII*

No	Nama Peralatan	Indeks Keandalan <i>Section VIII</i>	
		SAIFI	SAIDI
1	Trafo T63	0,001038865	0,083109
2	Trafo T64	0,001038865	0,083109
3	Trafo T65	0,001038865	0,010389
4	Trafo T66	0,001038865	0,010389
5	Trafo T67	0,001038865	0,010389
6	Trafo T68	0,001038865	0,010389
7	Trafo T69	0,001038865	0,010389
8	Trafo T70	0,001038865	0,010389
9	Trafo T71	0,001038865	0,010389
10	Trafo T72	0,001038865	0,010389
11	Trafo T73	0,001038865	0,010389
12	Trafo T74	0,001038865	0,010389
13	Trafo T75	0,001038865	0,010389
14	Trafo T76	0,001038865	0,010389
15	Trafo T77	0,001038865	0,010389
16	Trafo T78	0,001038865	0,010389
17	Sectionalizer S8	0,000623319	0,042261
18	Saluran L92	0,019572224	1,118553
19	Saluran L93	0,014170124	0,809823
20	Saluran L94	0,039352221	2,248979
21	Saluran L95	0,023686131	1,353662

<b>No</b>	<b>Nama Peralatan</b>	<b>Indeks Keandalan Section VIII</b>	
		<b>SAIFI</b>	<b>SAIDI</b>
22	Saluran L96	0,018408695	1,052057
23	Saluran L97	0,016621846	0,949939
24	Saluran L98	0,033493021	1,914126
25	Saluran L99	0,006524075	0,372851
26	Saluran L100	0,005692982	0,325354
27	Saluran L101	0,018907351	1,080555
28	Saluran L102	0,019364451	1,106678
29	Saluran L103	0,070268855	4,015865
30	Saluran L104	0,045003649	2,571959
31	Saluran L105	0,049907094	2,85219
32	Saluran L106	0,012217057	0,698205
33	Saluran L107	0,037773146	2,158735
34	Saluran L108	0,020403316	1,166051
35	Saluran L109	0,054976757	3,141922
36	Saluran L110	0,053231463	3,042178
37	Saluran L111	0,031955511	1,826257
38	Saluran L112	$4,1555 \times 10^{-5}$	0,002375
39	Saluran L113	$4,1555 \times 10^{-5}$	0,002375
40	Saluran L114	0,084854526	4,849436
41	Saluran L115	0,025057433	1,432032
42	Saluran L116	0,004030798	0,230361
43	Saluran L117	0,001911512	0,109243
Total		0,724712501	40,78568

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan teknik *section* pada Penyulang Pujon terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.52 Indeks keandalan Penyulang Pujon eksisting

<b>No</b>	<b>Section</b>	<b>Indeks Keandalan Penyulang Pujon</b>	
		<b>SAIFI</b>	<b>SAIDI</b>
1	Section I	0,003132	0,07447
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,526199	8,803235
4	Section IV	0,003143	0,1828
5	Section V	0,805841	38,03266
6	Section VI	0,018568	0,551128
7	Section VII	0,273223	12,95605
8	Section VIII	0,724713	40,78565
Total		2,407743	103,0257

### 5.6 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Injeksi PV Section I-VIII

Berdasarkan data pada model perhitungan eksisting sebelumnya dan dilakukan perhitungan ulang menggunakan metode section I sampai section VIII dengan injeksi PV didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.53.

Tabel 5.53 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan data injeksi PV

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,07447
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,526199	8,803235
4	Section IV	0,003143	0,1828
5	Section V	0,805841	38,03266
6	Section VI	0,551128	2,9191139
7	Section VII	0,273223	12,95605
8	Section VIII	0,724713	40,78565
Total		2,4265243	105,94481

### 5.7 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Injeksi WPP Section I-VIII

Pada skenario ke 3 pada penyulang pujon dir injeksi WPP. Berdasarkan model perhitungan sebelumnya dapat di lakukan perhitungan indeks keandalan dengan injeksi WPP dengan nilai indeks keandalan pada tabel 5.54.

Tabel 5.54 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan data injeksi WPP

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,07447
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,526199	8,80324
4	Section IV	0,003143	0,18281
5	Section V	0,805841	38,03266
6	Section VI	0,0187813	2,044452
7	Section VII	0,273223	12,95605
8	Section VIII	0,724713	40,78565
Total		2,4265243	105,0702

### 5.8 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Injeksi PV dan WPP Section I-VIII

Pada skenario ke 4 pada penyulang pujon di injeksi PV dan WPP dan dengan model perhitungan sebelumnya dan dilakukan perhitungan ulang menggunakan metode *section* didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.55.

Tabel 5.55 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan data injeksi PV dan WPP

No	<i>Section</i>	Indeks Keandalan Penyulang Pujon	
		SAIFI	SAIDI
1	<i>Section I</i>	0,003132	0,07447
2	<i>Section II</i>	0,052925	1,63973
3	<i>Section III</i>	0,526199	8,803235
4	<i>Section IV</i>	0,003143	0,1828
5	<i>Section V</i>	0,805841	38,03266
6	<i>Section VI</i>	0,0373493	3,47024194
7	<i>Section VII</i>	0,273223	12,95605
8	<i>Section VIII</i>	0,724713	40,78565
Total		2,4450923	106,495942

Tabel 5.56 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan metode *section technique*

No	<i>Section</i>	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan Metode Section Technique							
		Data Eksiting		Injeksi PV		Injeksi WPP		Injeksi PV dan WPP	
		SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
1	<i>Section I</i>	0,003132	0,07447	0,003132	0,07447	0,003132	0,07447	0,003132	0,07447
2	<i>Section II</i>	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973
3	<i>Section III</i>	0,526199	8,803235	0,526199	8,803235	0,526199	8,803235	0,526199	8,803235
4	<i>Section IV</i>	0,003143	0,1828	0,003143	0,1828	0,003143	0,1828	0,003143	0,1828
5	<i>Section V</i>	0,805841	38,03266	0,805841	38,03266	0,805841	38,03266	0,805841	38,03266
6	<i>Section VI</i>	0,018568	0,551128	0,551128	2,9191139	0,0187813	2,044452	0,0373493	3,47024194
7	<i>Section VII</i>	0,273223	12,95605	0,273223	12,95605	0,273223	12,95605	0,273223	12,95605
8	<i>Section VIII</i>	0,724713	40,78565	0,724713	40,78565	0,724713	40,78565	0,724713	40,78565
<i>Total</i>		2,407743	103,0257	2,4265243	105,94481	2,4265243	105,0702	2,4450923	106,495942

### 5.9 Koordinasi Penempatan Fuse-Recloser dengan Metode PSO

Particle Swarm Optimization merupakan salah satu teknik pencari solusi yang diadopsi dari perilaku sosial binatang seperti ikan. Partikel-partikel sebagai kandidat solusi PSO dianalogikan sebagai ikan atau burung yang mencari makan bersama dalam suatu gerombolan besar *swarm* berdasarkan data populasi n-partikel.

Partikel tersubut menampilkan himpunan alternatif solusi permasalahan yang akan di optimisasi. Dalam implementasi penerapan metode PSO untuk penempatan *fuse-recloser* pada Penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebut hybrid PV dan WPP memiliki kriteria nilai SAIFI dan SAIDI pada masing-masing *section*. Proses tahap pada metode PSO adalah sebagai berikut:

1. Membangkitkan sejumlah particle bersamaan kecepatan awal secara acak.
2. Mengevaluasi fitness pada masing-masing particle sesuai posisinya.
3. Menentukan particle dengan nilai fitness terbaik dan menetapkan sebagai Gbest setiap particle dan Pbest awal akan sama setiap posisinya.

Persamaan fitness dalam penelitian ini menggunakan sebagai berikut:

$$f(x) = \frac{1}{SAIFI \cdot SAIDI}$$

Posisi awal *recloser* pada section 3

Jumlah partikel 10

Maksimum iterasi 50

Batas bawah 1 (section 1)

Batas atas 8 (section 8)

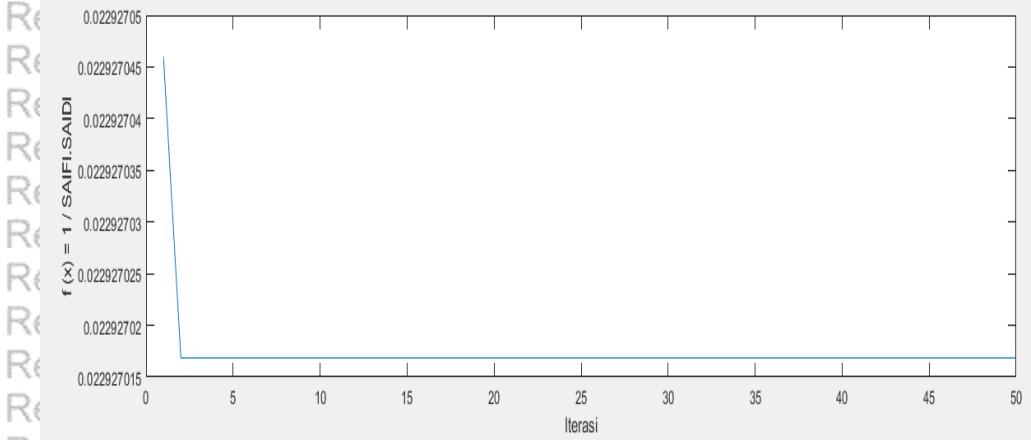
### 5.9.1 Relokasi Penempatan Fuse-Recloser dengan data Eksisting Metode PSO

Pada skenario pertama Penyulang Pujon dengan data eksisting koordinasi penempatan *recloser* dengan metode PSO didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.57.

Tabel 5.57 Indeks keandalan Penyulang Pujon data eksisting metode PSO

No	<i>Section</i>	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan PSO	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,177964
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,52549	8,7912
4	Section IV	0,0031608	0,183101
5	Section V	0,80584	38,0327
6	Section VI	0,018568	1,20501
7	Section VII	0,27322	14,1721
8	Section VIII	0,72471	40,7857
Total		2,407	104,9875

Dari hasil simulasi matlab dengan data eksisting metode PSO untuk menentukan optimasi penempatan *recloser* pada sistem distribusi penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebut di dapat pada section IV. Pada saat iterasi ke 4 nilai optimal *fitness* sudah di dapat dengan nilai 0,022927.



Gambar 5.19 Grafik penempatan *recloser* dengan data Eksisting metode PSO

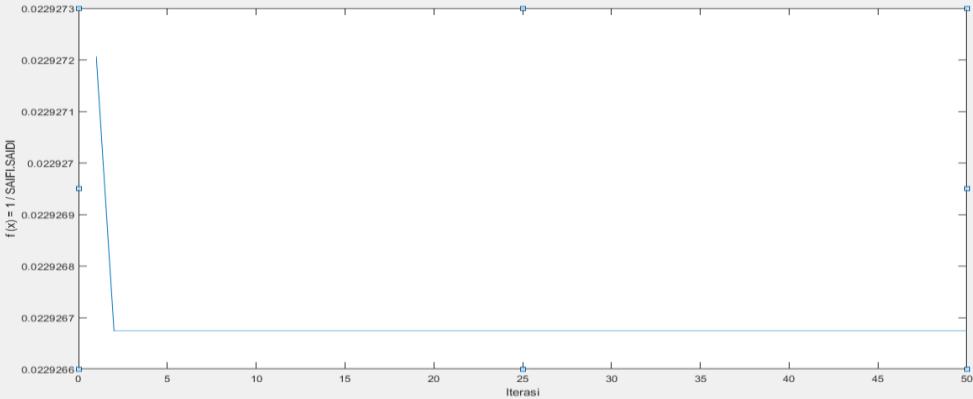
### 5.9.2 Relokasi Penempatan Fuse-Recloser dengan Injeksi PV Metode PSO

Pada skenario ke - 2 Penyulang Pujon dengan injeksi PV koordinasi penempatan *recloser* dengan metode PSO didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.58.

Tabel 5.58 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan injeksi PV metode PSO

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan Injeksi PV Metode PSO	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,177964
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,52549	8,7912
4	Section IV	0,0031608	0,183101
5	Section V	0,80584	38,0327
6	Section VI	0,018696	1,21216
7	Section VII	0,27322	14,1721
8	Section VIII	0,72471	40,7857
Total		2,4072	104,9996

Dari hasil simulasi matlab dengan data injeksi PV metode PSO untuk menentukan optimasi penempatan *recloser* pada sistem distribusi Penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebut di dapat pada section IV. Pada saat iterasi ke 4 nilai optimal *fitness* sudah di dapat dengan nilai 0,022926.



Gambar 5.20 Grafik optimasi penempatan *recloser* Penyulang Pujon dengan injeksi PV

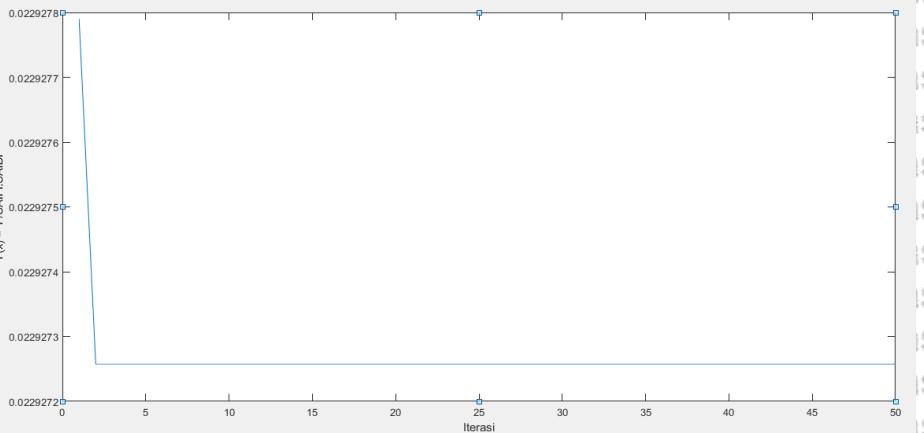
## metode PSO

### 5.9.3 Relokasi Penempatan Fuse-Recloser dengan Injeksi WPP Metode PSO

Pada skenario ke - 3 Penyulang Pujon dengan injeksi WPP koordinasi penempatan *recloser* dengan metode PSO didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.59.

Tabel 5.59 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan injeksi WPP metode PSO

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan Injeksi WPP Metode PSO	
		SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,177964
2	Section II	0,052925	1,63973
3	Section III	0,52549	8,7912
4	Section IV	0,0031608	0,183101
5	Section V	0,80584	38,0327
6	Section VI	0,018782	1,21247
7	Section VII	0,27322	14,1721
8	Section VIII	0,72471	40,7857
Total		2,4073	104,9949



*Gambar 5.21* Grafik penempatan *recloser* Penyulang Pujon dengan injeksi WPP metode PSO

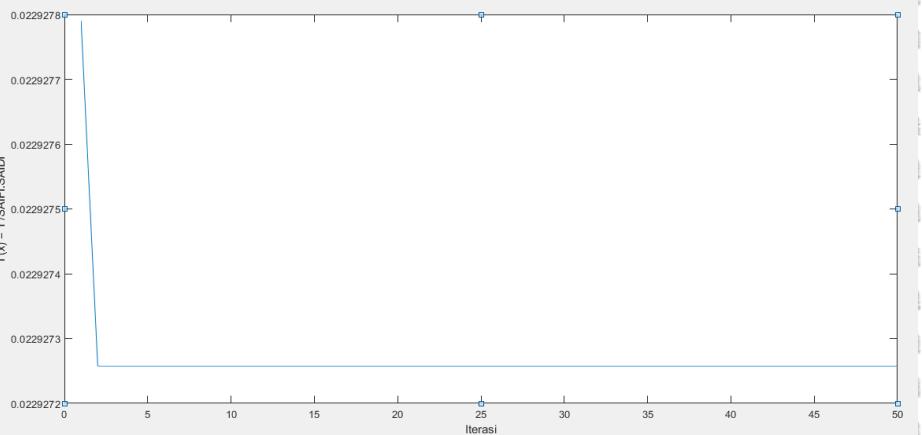
Dari hasil simulasi matlab dengan data injeksi WPP metode PSO untuk menentukan optimasi penempatan *recloser* pada sistem distribusi penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebut di dapat pada *section IV*. Pada saat iterasi ke 4 nilai optimal *fitness* sudah di dapat dengan nilai 0,022927.

#### 5.9.4 Relokasi Penempatan Fuse-Recloser dengan Injeksi PV dan WPP Metode PSO

Pada skenario ke - 4 Penyalag Pujon dengan injeksi PV dan WPP koordinasi penempatan *recloser* dengan metode PSO didapat nilai indeks keandalan pada tabel 5.60.

Tabel 5.60 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan injeksi WPP dan WPP metode PSO

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan Injeksi PV dan WPP Metode PSO		Nilai Optimisasi
		SAIFI	SAIDI	
1	Section I	0,003132	0,177964	0,022928
2	Section II	0,052925	1,63973	0,022929
3	Section III	0,52549	8,7912	0,022931
4	Section IV	0,0031608	0,183101	0,022927
5	Section V	0,80584	38,0327	0,022932
6	Section VI	0,018995	1,2244	0,022928
7	Section VII	0,27322	14,1721	0,022931
8	Section VIII	0,72471	40,7857	0,022932
Total		2,4075	105,0069	



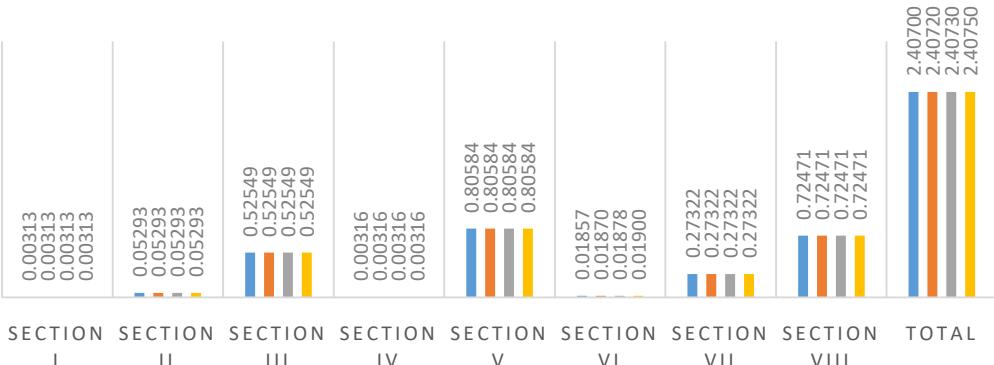
*Gambar 5.22 Grafik penempatan *recloser* Penyulang Pujon dengan Injeksi PV dan WPP metode PSO*

Pada tabel 5.60 hasil simulasi matlab dengan d injeksi PV dan WPP metode PSO untuk menentukan optimisasi penempatan *recloser* pada sistem distribusi Penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebut di dapat pada section IV. Pada saat iterasi ke 4 nilai *fitness* di dapat dengan nilai 0,0227 lebih kecil dari nilai pada section yang lain.

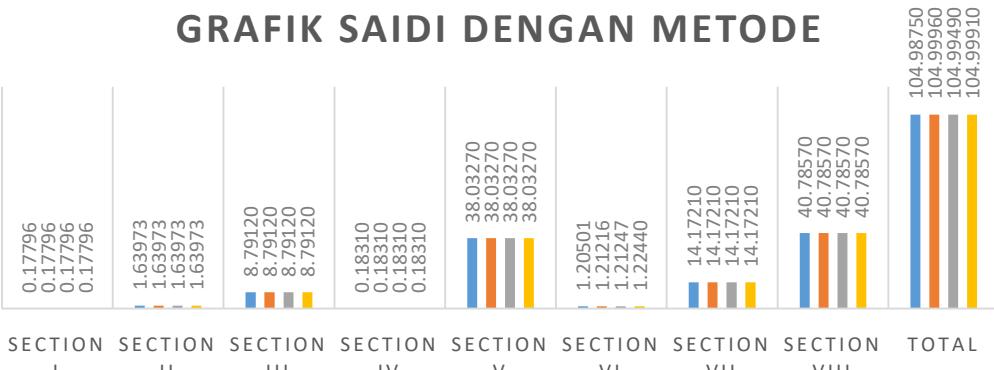
Tabel 5.61 Indeks keandalan Penyulang Pujon dengan metode PSO

No	Section	Indeks Keandalan Penyulang Pujon dengan Metode PSO							
		Data Eksiting		Injeksi PV		Injeksi WPP		Injeksi PV dan WPP	
		SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
1	Section I	0,003132	0,177964	0,003132	0,177964	0,003132	0,177964	0,003132	0,177964
2	Section II	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973	0,052925	1,63973
3	Section III	0,52549	8,7912	0,52549	8,7912	0,52549	8,7912	0,52549	8,7912
4	Section IV	0,0031608	0,183101	0,0031608	0,183101	0,0031608	0,183101	0,0031608	0,183101
5	Section V	0,80584	38,0327	0,80584	38,0327	0,80584	38,0327	0,80584	38,0327
6	Section VI	0,018568	1,20501	0,018696	1,21216	0,018782	1,21247	0,018824	1,21664
7	Section VII	0,27322	14,1721	0,27322	14,1721	0,27322	14,1721	0,27322	14,1721
8	Section VIII	0,72471	40,7857	0,72471	40,7857	0,72471	40,7857	0,72471	40,7857
<b>Total</b>		<b>2,407</b>	<b>104,9875</b>	<b>2,4072</b>	<b>104,9996</b>	<b>2,4073</b>	<b>104,9949</b>	<b>2,4073</b>	<b>104,9991</b>

## GRAFIK SAIFI METODE PSO



## GRAFIK SAIDI DENGAN METODE



Gambar 5.23 Grafik indeks keandalan dengan metode PSO

Pada tabel 5.61 nilai indeks keandalan Penyulang Pujon menggunakan metode PSO

masing-masing skenario dengan semua *section* pada Penyulang Pujon. Pada *section* 6 terlihat ada perbedaan nilai indeks SAIFI dan SAIDI, ini di karenakan dengan adanya injeksi Pembangkit Tersebar pada *section* 6, maka ada penambah komponen peralatan yang berpengaruh terhadap nilai indeks SAIDI dan SAIFI pada sistem Penyulang Pujon.

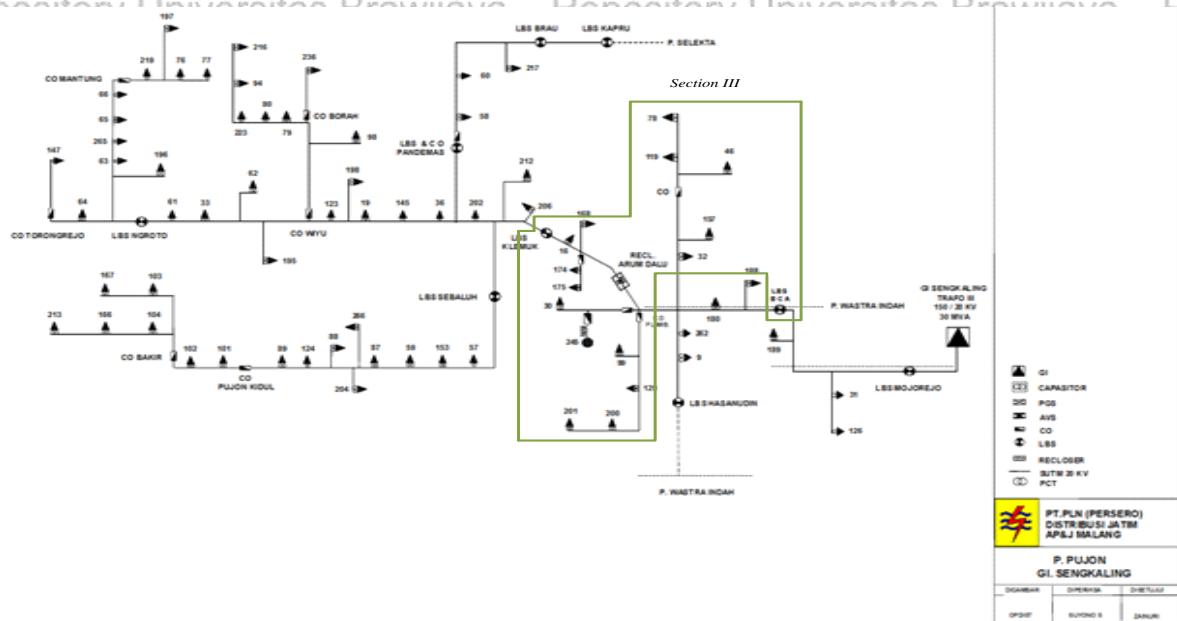
Dengan adanya injeksi pembangkit tersebut PV dan WPP pada Penyulang Pujon akan menambah jumlah komponen peralatan yang mempengaruhi laju kegagalan, waktu pemadaman dan total waktu pemulihan yang perlukan pada *section* 6 berkontribusi terhadap nilai indeks keandalan dan pada *section-section* yang lain tidak mengalami perubahan nilai indeks keandalan dikarenakan jumlah komponen pada *section* lain tetap dan tidak ada penambahan.

### 5.10 Analisis Relokasi Recloser dengan Metode PSO data Eksisting Injeksi PV dan WPP

# Penyulang Pujon

Penyulang Pujon mempunyai satu *recloser* yang berada pada bus no 24 section III.

Dengan metode *section technique* data eksisting injeksi PV dan WPP nilai SAIFI sebesar 2,4450923 kali/tahun dan SAIDI sebesar 106,495942 jam/tahun. Letak *recloser* sebelum menggunakan metode PSO terlihat pada gambar 5.24.

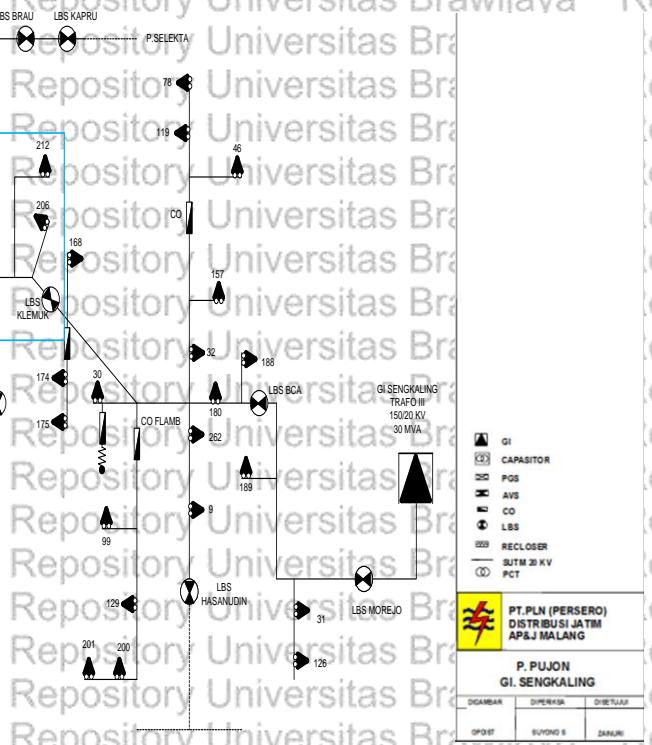


Gambar 5.24 Letak recloser pada section 3

Sumber: PT. PLN (Persero) APP Malang

Pada gambar 5.27 dari hasil simulasi matlab dengan data injeksi PV dan WPP metode PSO untuk menentukan optimasi penempatan *recloser* pada sistem distribusi Penyulang Pujon karena adanya pembangkit tersebar di dapat pada bus no 73 *section IV* posisi *recloser* berada pada *section 4* dengan nilai SAIFI sebesar 2,4073 dan SAIDI 104,9991 pada saat iterasi ke 4 nilai optimal *fitness*di dapat dengan nilai -0,0227.

Simulasi data eksisting injeksi PV dan WPP dengan metode PSO di dapat nilai SAIFI sebesar 2,4073 kali/tahun dan SAIDI 104,9991 jam/tahun dan penempatan *recloser* pada bus 73 section 4 terlihat pada gambar 5.25.



*Gambar 5,25 Lokasi penempatan recloser Penyalur Pujon dengan injeksi PV dan WPP metode PSO*

Dengan metode PSO nilai SAIFI dan SAIDI mengalami peningkatan di bandingkan dengan metode *section technique* yaitu SAIFI sebesar 0,0375923 kali/tahun dan SAIDI 1,496832 jam/tahun.

