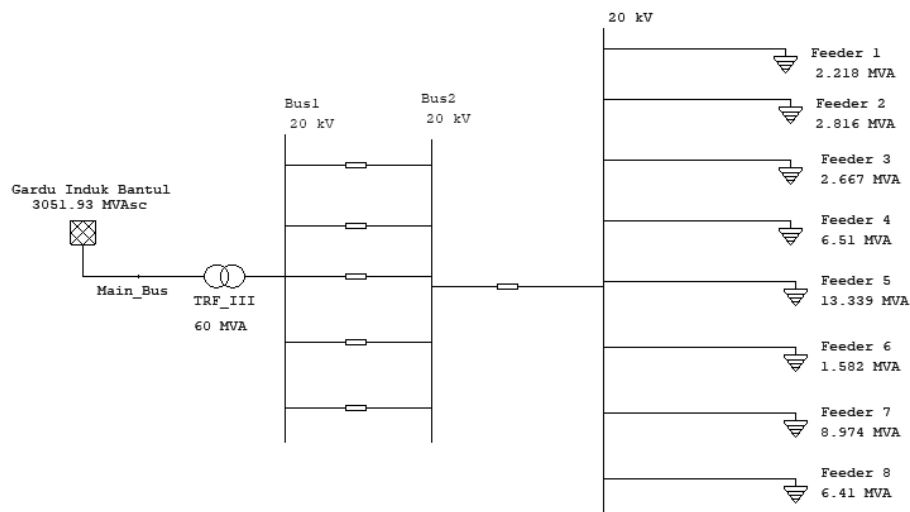


## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambaran Umum

Teknik penetrasi DG merupakan penambahan kapasitas pembangkit baru pada Sistem Distribusi tipe Radial. Gejala permasalahan yang sering timbul pada Sistem Distribusi tipe Radial yakni adanya rugi-rugi daya yang ditimbulkan dalam sistem pada bus paling terjauh dari sistem distribusi. Rugi – rugi daya di indikasikan dengan adanya jatuh tegangan yang melebihi batas standar minimal tegangan diterima ( $V_r$ ) pada sisi pelanggan. Dimana batas minimal dan maksimal tegangan terima dari PLN sesuai standar tahun 2013 adalah +5% atau 1.05 p.u dan -10% atau 0.96 p.u.

Penelitian ini terdiri-dari 4 studi kasus pengujian di Sistem Distribusi tipe Radial. Sistem Distribusi tersebut adalah Sistem Distribusi standar IEEE 33-bus, 69-bus, dan 85-bus, serta Sistem Distribusi riil di Gardu Induk Bantul keluaran Trafo 3 pada penyulang 5. Bentuk umum sistem distribusi Bantul keluaran dari Trafo 3 seperti pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1 Bentuk Umum Keluaran Trafo 3 GI Bantul**

### 4.2 Analisis Aliran Daya dengan *Backward/Forward Sweep*(BFS)

Dalam pengenalan pemodelan sistem distribusi pada matlab digunakan sebuah matrik. Dengan menggunakan metode analisis aliran daya sistem distribusi radial

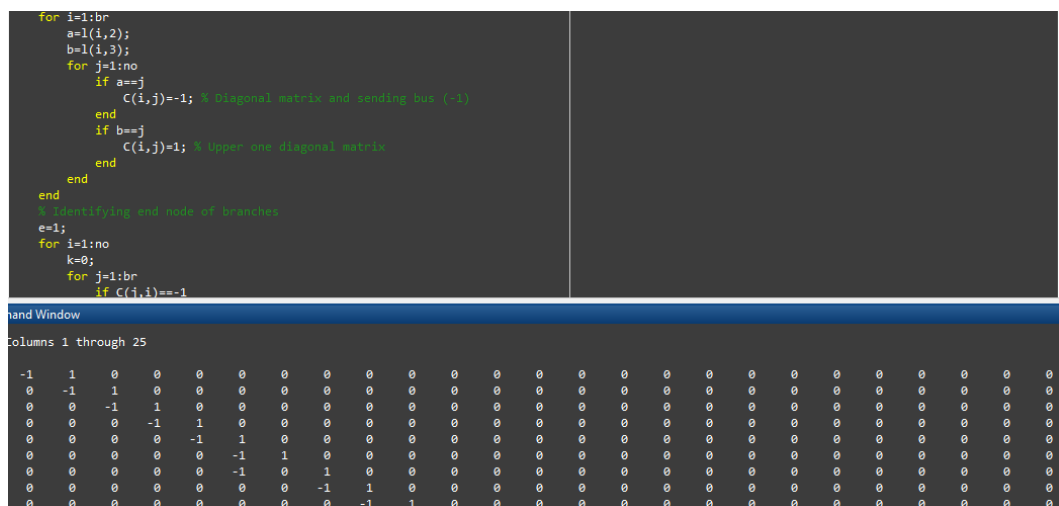
pada penelitian ini menggunakan metode *Backward/Forward Sweep*(BFS). Hal ini seperti dimodelkan dalam *script* matlab dibawah ini.

```

C=zeros(br,no);
for i=1:br
    a=l(i,2);
    b=l(i,3);
    for j=1:no
        if a==j
            C(i,j)=-1; % Diagonal matrix and sending
        bus(-1)
        end
        if b==j
            C(i,j)=1; % Upper one diagonal matrix
        end
    end
end

```

*Backward/Forward Sweep* (BFS) membuat sebuah matriks yang terdiri dari baris dan kolom sepanjang dengan banyaknya bus dalam sistem distribusi. Dalam matriks di Matlab awal saluran ditandai dengan -1 kemudian sisi kedua bernilai 1. Nilai awal atau nilai -1 dalam matrik ini digambarkan bahwa penyulang A terhubung dari bus 1, sedangkan nilai 1 merupakan penyulang A terakhir terhubung ke bus 2. Hal ini bisa dilihat seperti pada **Gambar 4.2**.



```

for i=1:br
    a=l(i,2);
    b=l(i,3);
    for j=1:no
        if a==j
            C(i,j)=-1; % Diagonal matrix and sending bus (-1)
        end
        if b==j
            C(i,j)=1; % Upper one diagonal matrix
        end
    end
end
% Identifying end node of branches
e=1;
for i=1:no
    k=0;
    for j=1:br
        if C(i,i)==-1

```

Command Window

Columns 1 through 25

```

-1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0
0    0    0    0    0    0    0    0    0   -1    1    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0    0

```

**Gambar 4.2** Pemodelan *Backward/Forward Sweep* (BFS)

### 4.3 Optimisasi *Distributed Generation* dengan Metode *Ant Lion Optimizer*

Metode *Ant Lion* digunakan sebagai metode optimasi dalam menentukan lokasi dan kapasitas pembangkit tersebar. ALO merupakan *single* objektif yang dikembangkan oleh Seyedalli Mirjalili, 2015. Adapun ALO untuk multi objektif digunakanlah MOALO. Pada penelitian ini memanfaatkan ALO *programming* sebagai optimasi penempatan pembangkit tersebar dan kapasitas yang optimal dalam Sistem Distribusi. Berikut merupakan penjelasan penerapan *programming* ALO sebagai optimal penempatan DG.

Langkah pertama yakni pengenalan sistem distribusi yang sudah dibuat dengan metode *Backward/Forward Sweep*(BFS) diatas ke *programming* ALO. Pengenalan sistem distribusi dengan *load flow* menggunakan metode *Backward/Forward Sweep*(BFS) dikenalkan atau inialisasi seperti pada *script* dibawah ini:

```
%Run base load flow to read data, create distribution structure, and
finevoltage
BaseLoadFlow; %Pemanggilan fungsi Backward/Forward Sweep
br;
no;
LF;
brlength=1;
PF=0.85;          % Power factor, option: 0.85; 0.95; 1.
%PF2=0.9;
%PF3=1;
R;
X;
P;
Q;
MVAbs;
Vb;
adjcb;
adjb;
oldloss=PL;
```

Kemudian dilakukan pencarian variabel data dalam sistem distribusi pada program *Ant Lion Optimizer*(ALO). *Lower Bound*(Lb) merupakan ukuran batas bawah dari bus dan kapasitas DG yang diinputkan, sedangkan *Upper Bounds*(Ub) merupakan batas atas untuk mencapai data bus dan kapasitas DG. Fungsi pencarian acak kapasitas DG menggunakan fungsi “populasi\_DG”. Kemudian dilakukan perulangan, beberapa percobaan yang dilakukan jumlah maksimal perulangan ini hanya 100 kali.

```

% Dimension of the search variables
lb=[1 40];
ub=[37 16860];
dimension=2;
obj_no=2;
scenario=2;           % Pilih scenario 1,2,atau 3

%lb&&ub(2)=populasi_DG;
dgmax=ub(2);
dgmin=lb(2);
populasi_DG=(dgmax-dgmin)*rand()+dgmin;

Elite_antlions_position=populasi_DG;
%iterasi parameter
Max_iter=90; % Jumlah penrulangan
N=100; % jumlah populasi

```

Menentukan kecocokan dari fungsi yang ingin dituju dan memasukkan data pada sistem distribusi ke *programming* ALO mengikuti *script* dibawah ini. Dimana fungsi tujuan ini adalah “baseloadflow2”. Nilai kecocokan ini dimasukkan pada “antlions\_fitness” dan “ant\_fitness”, agar program ALO dapat membaca sistem distribusi.

```

% Calculate the fitness of initial antlions and sort them
for i=1:size(antlion_position,1)
antlions_fitness(1,i)=BaseLoadFlow2(antlion_position(i,:),br,no,brlenght
,PF,R,X,P,Q,MVAb,Vb,adjcb,adjb,oldloss);
end

```

Kemudian dalam menampilkan hasil fungsi tujuan digunakan *convergence* yakni untuk menampilkan hasil fungsi rugi – rugi daya aktif. Berdasarkan teori bahwa semut singa akan melakukan pembaharuan apabila kalah dengan semut mangsanya.

```

% Update the convergence curve
Convergence_curve(Current_iter)=Elite_antlion_fitness;

```

#### 4.4 Hubungan ALO dengan DG

Hubungan ini dibaca dari data “*optimal DG placement*” yang sudah dibuat seperti *script* dibawah ini. Data “*photovoltaic*” didapatkan dari data *Queensland university photovoltaic*. Dari data *real time* ini mulai mengalirkan daya dari pukul

07:00 sampai pukul 17:00. Nilai dari optimal DG didapatkan dari sebuah fungsi bahwa OV menunjukkan elite posisi dari antlion.

```
% Run Load Flow with Optimal DG size and Placement
```

```
OV=Elite_antlion_position;
OptimalLoadFlow;
```

```
PV=load('Photovoltaic.m');
```

```
nobus=round(Elite_antlion_position(1,1));
total_unit_PV_based_DG1=Elite_antlion_position(1,2)/PV(nobus,2);
```

```
%Fungsi OptimalLoadflow
busdg=round(OV(1,1));
Pdg=OV(1,2);
Sdg=Pdg/PF;
```

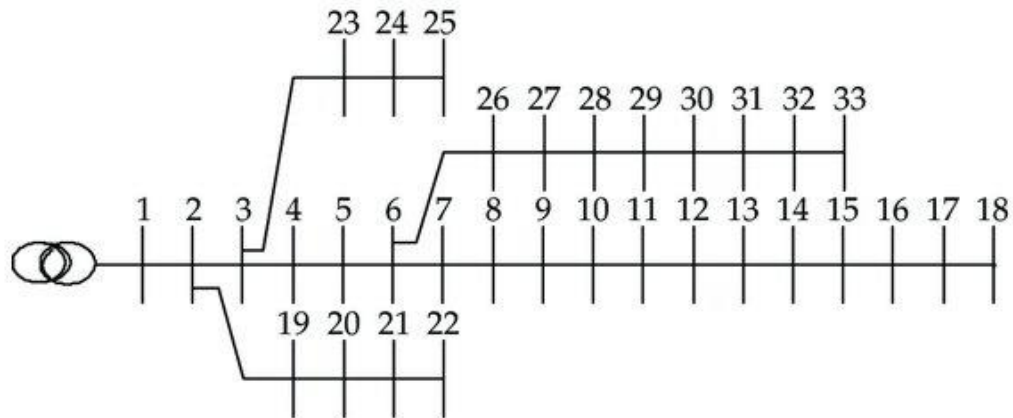
#### 4.5 Intermittent Photovoltaic

Sifat *photovoltaic* atau tenaga surya yang *intermittent* merupakan keadaan yang mana *photovoltaic* tersebut bekerja atau menghasilkan daya pada saat terkena sinar matahari atau siang hari. Pada penelitian ini menggunakan data *intermittent photovoltaic* dari data *Queensland University photovoltaic*. Karena di dalam pembangkitan pada *Queensland University* menggunakan *photovoltaic* sebagai pembangkit listrik dan data tersebut di *publish* didalam website mereka secara *realtime*. Data yang digunakan dalam penelitian ini yakni ketika *photovoltaic* belum menghasilkan daya, yakni pada waktu pukul 06:02 sampai pukul 17:30 ketika daya yang dihasilkan juga 0, sehingga hal ini dikatakan bahwa *photovoltaic* bersifat *intermittent DG*.

#### 4.6 Studi Kasus 1

Dalam pengujian pada penelitian ini menggunakan beberapa studi kasus. Studi kasus yang dimaksudkan adalah pengujian ke Sistem Distribusi tipe Radial Standar IEEE dan Sistem Distribusi Riil. Dalam pengujian standar IEEE, digunakanlah sistem Distribusi standar 33-bus, 69-bus, dan 85-bus. Pada Studi kasus 1 ini digunakan data IEEE 33-bus untuk menentukan lokasi dan kapasitas DG yang optimal, Sistem pengujian pada studi kasus ini adalah untuk mengetahui

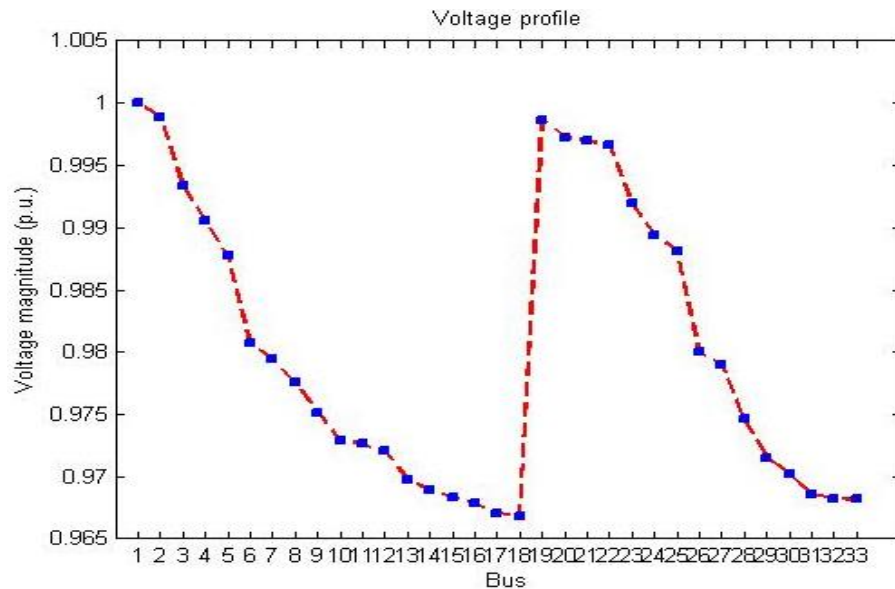
karakteristik Sistem Distribusi Radial standar IEEE 33 bus. Pemodelan pada Sistem Distribusi Radial 33-Bus dapat dilihat seperti pada **Gambar 4.3** berikut:



**Gambar 4.3 Pemodelan Sistem Distribusi Radial 33 Bus**

Pada Sistem Distribusi tipe Radial 33 bus diatas memiliki struktur jaringan dan nilai beban pada masing – masing bus. Sehingga data – data tersebut bisa dikenalkan untuk optimasi didalam *programming* matlab. Struktur jaringan tersebut dapat dilihat pada lampiran nomer 1. Selain dari struktur jaringan, diperlukan pula data beban dalam sistem distribusi radial. Data beban pada sistem distribusi radial 33 Bus standar IEEE dapat dilihat pada lampiran nomer 2.

Dari struktur jaringan pada lampiran tersebut, dilakukan analisis aliran daya dengan metode *Backward/Forward Sweep*(BFS). Dari hasil analisis tersebut didapatkan hasil profil tegangan seperti pada **Gambar 4.4** dibawah ini. Profil tegangan tersebut sebelum penambahan DG terlihat bahwa jatuh tegangan paling rendah pada bus 18, bus 32, dan bus 33 yakni 0.968 p.u. Dalam analisis penelitian ini, nilai 1 p.u. merupakan basis data dari 20 kV.



**Gambar 4.4** Profil Tegangan IEEE 33 bus Sebelum ada DG

Analisis aliran daya dengan BFS pada sistem distribusi 33 bus terlihat profil tegangan seperti **Gambar 4.4**. Untuk mengurangi jatuh tegangan tersebut maka dilakukan metode optimasi dengan *programming* ALO, didapatkan posisi DG yang optimal dan kapasitasnya seperti pada **Tabel 4.1** dibawah ini. Simulasi yang dilakukan sebanyak 3 kali dengan iterasi hitungan sebanyak 99. Hasil tampilan di matlab ditunjukkan pada **Gambar 4.5**.

```

Command Window
38.0461

Load_Increment =
    39.2663

Load_Increment =
    39.2663

InvestmentCost =
    1.5325e+06

MaintenanceCost =
    5.1236e+06

LossesCost =
    1.4466e+04

ENS_cost =
    2.9904e+04

Total number of evaluations: 9900
Best solution= 6      2554.2355
Elite_antlion_fitness: 0.78638
Elapsed time is 121.659617 seconds.
fx >>

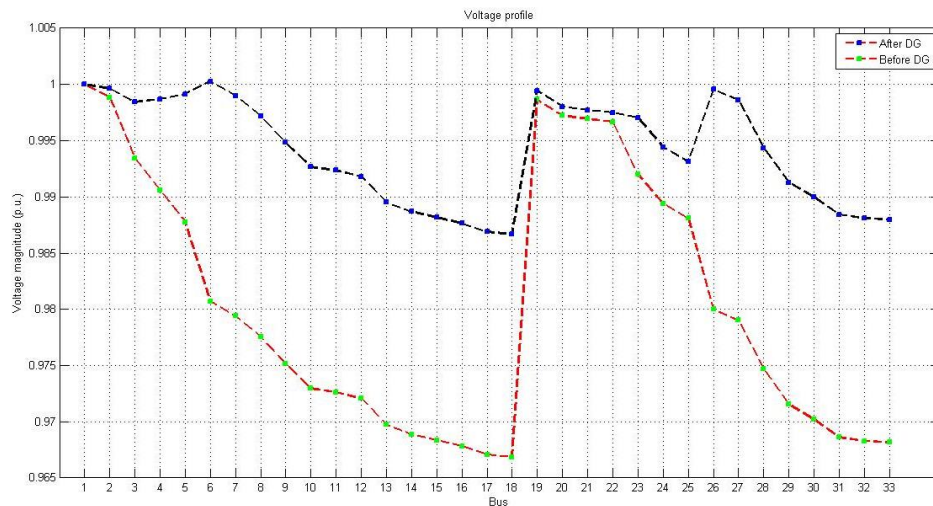
```

**Gambar 4.5** Kapasitas dan lokasi DG sistem 33 bus di Matlab

**Tabel 4.1 Hasil Simulasi Penempatan DG Sistem 33-Bus**

No.	<i>Interprocedural Optimization (IPO)</i>	Simulasi ke-	Lokasi Optimal DG (bus ke-)	Kapasitas DG (kWp)	Rugi daya
1.	99	1	6	2554.23	0.791 kw ke 0.785 kw
2.	99	2	6	2554.23	0.791 kw ke 0.785 kw
3.	99	3	6	2554.23	0.8 kw ke 0.78 kw
Std. Deviasi			6	2554.23	0.2 kw

Dengan lokasi yang di tentukan optimal dan kapasitasnya, maka indikator keberhasilan yang didapatkan adalah pengurangan nilai rugi daya. Selain itu juga terdapat perbaikan profil tegangan. Profil tegangan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.6**. Terlihat bahwa dengan adanya penambahan DG pada Bus 6 dengan kapasitas 2554.23 kWp, bahwa nilai perbaikan profil tegangan mengalami kenaikan. Kenaikan tersebut terlihat yakni pada bus 18, bus 32, dan bus 33 yang sebelumnya nilai p.u adalah 0.968 menjadi 0.985.

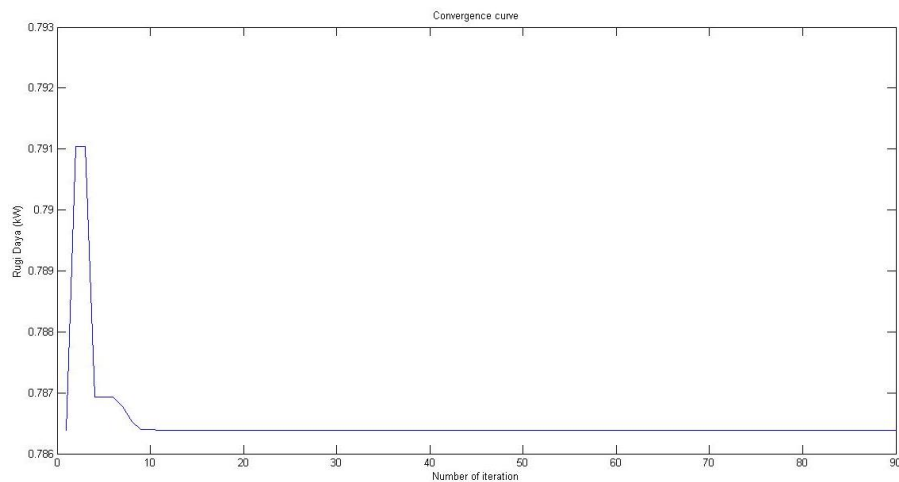


**Gambar 4.6 Perbaikan Profil Tegangan 33 Bus**



#### 4.6.1 Fungsi Tujuan Mengurangi Rugi Daya

Fungsi Objektif atau fungsi tujuan merupakan tujuan dari adanya metode optimasi yang dilakukan. Pada penelitian ini yakni untuk mengetahui fungsi tujuan dalam mengurangi rugi daya. Rugi daya ini berkurang seiring dengan adanya perbaikan profil tegangan akibat adanya penambahan DG di bus sistem distribusi. Nilai rugi daya berkurang pada 10 iterasi pertama atau mengalami konvergen dalam 10 iterasi pertama tersebut. Besarnya rugi daya yang dapat dikurangi yakni sebesar 0.2 kW ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7 Fungsi Tujuan Mengurangi Rugi Daya pada sistem 33-Bus**

#### 4.6.2 Load Line Index (LLI)

Fungsi tujuan indek beban saluran ini untuk menghitung perkembangan beban di bus untuk 20 tahun mendatang dengan persamaan 2.77. Dihasilkan penambahan bus di matlab seperti pada **Gambar 4.8**. dihasilkan bahwa untuk 20 tahun mendatang pertambahan bus dari 33-bus menjadi 39-bus, dengan faktor perkembangan tiap tahun sebesar 1%. Perkiraan penambahan bus tersebut seperti pada **Tabel 4.2**.

```

Command Window
Load_Increment =
31.9451
Load_Increment =
33.1653
Load_Increment =
34.3855
Load_Increment =
35.6057
Load_Increment =
36.8259
Load_Increment =
38.0461
Load_Increment =
39.2663
Load_Increment =
39.2663

```

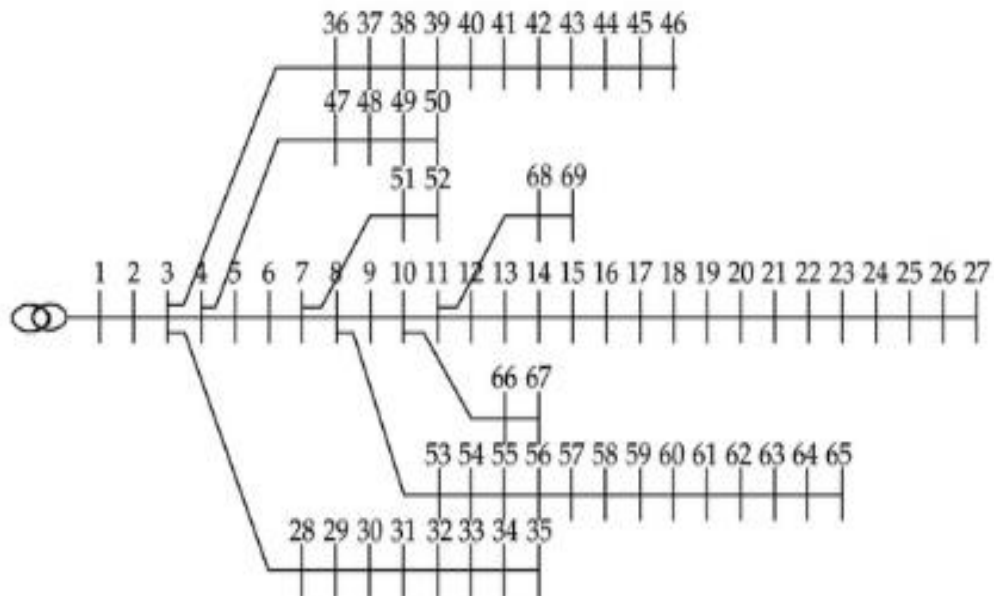
**Gambar 4.8** Perhitungan LLI di Sistem 33 bus

**Tabel 4.2** *Load line index* Sistem 33-bus

Sistem Distribusi	33-bus
Perkiraan beban bus 20 tahun mendatang	39-bus

#### 4.7 Studi kasus 2

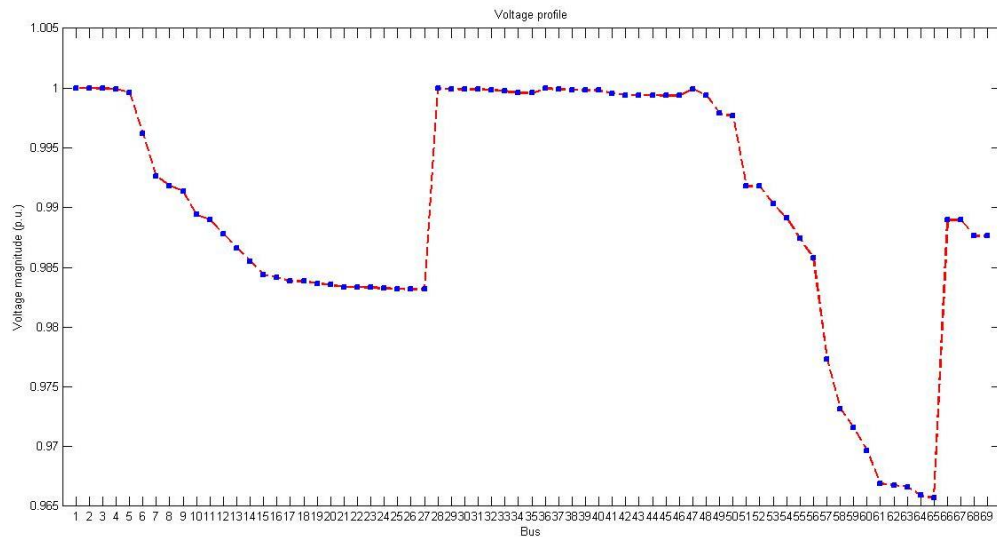
Studi kasus 2 merupakan pengujian kedua dari Sistem Distribusi tipe Radial standar IEEE 69-Bus. Dalam studi kasus 2 bertujuan untuk mengetahui lokasi dan kapasitas DG yang optimal di sistem 69 bus. Jika kita tinjau pada Gambar 4.9 pada Sistem Distribusi 69 bus ini lebih kompleks dibanding dengan studi kasus 1. Dengan Sistem Distribusi yang memiliki jumlah bus 69 akan berdampak pada profil tegangan di beban yang terletak terjauh dari sumber utama. Berikut bentuk jaringan 69 bus standar IEEE seperti **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9 Bentuk Jaringan 69 Bus**

Untuk mengenalkan sistem distribusi 69-Bus tersebut pada Matlab, maka diperlukan data struktur jaringan dan data beban pada masing-masing saluran dan bus. Struktur jaringan tersebut seperti pada lampiran nomer 3, serta data beban terdapat pada lampiran nomer 4.

Data struktur jaringan dan data beban di sistem distribusi radial 69-bus tersebut di analisis dengan metode *backward/forward sweep*. Analisis dilakukan dengan komputasi matlab untuk mengetahui karakteristik profil tegangan dari sistem distribusi radial 69-bus. Karakteristik profil tegangan 69-bus dapat dilihat seperti pada **Gambar 4.10**. Dari **Gambar 4.10** terlihat bahwa profil tegangan sebelum adanya DG memiliki jatuh tegangan 0.96 p.u pada bus 64 dan bus 65. Dalam analisis ini nilai 1 p.u (per unit) sama dengan basis 20 kV.



**Gambar 4.10 Profil Tegangan Sistem 69 Bus**

Data struktur jaringan pada lampiran nomor 3 dan data beban masing – masing bus seperti pada lampiran nomor 4 dimasukkan dalam analisis aliran daya *Backward/Forward Sweep*(BFS). Dari analisis BFS tersebut diketahui profil tegangan seperti pada Gambar 4.10 kemudian dimasukkan kedalam algoritma metode optimasi yakni algoritma *Ant Lion Optimizer*(ALO). Sehingga didapatkan lokasi dan kapasitas DG yang optimal untuk bentuk Sistem Distribusi tipe Radial 69 bus seperti pada **Tabel 4.3** atau dengan **Gambar 4.11** hasil pada tampilan Matlab.

```

Command Window
81.9729

Load_Increment =
83.1931

Load_Increment =
83.1931

InvestmentCost =
1.1392e+06

MaintenanceCost =
3.8085e+06

LossesCost =
1.7214e+05

ENS_cost =
5.8344e+05

Total number of evaluations: 9900
Best solution= 61      1898.6525
Elite_antlion_fitness: 9.3577
Elapsed time is 201.319721 seconds.
>>

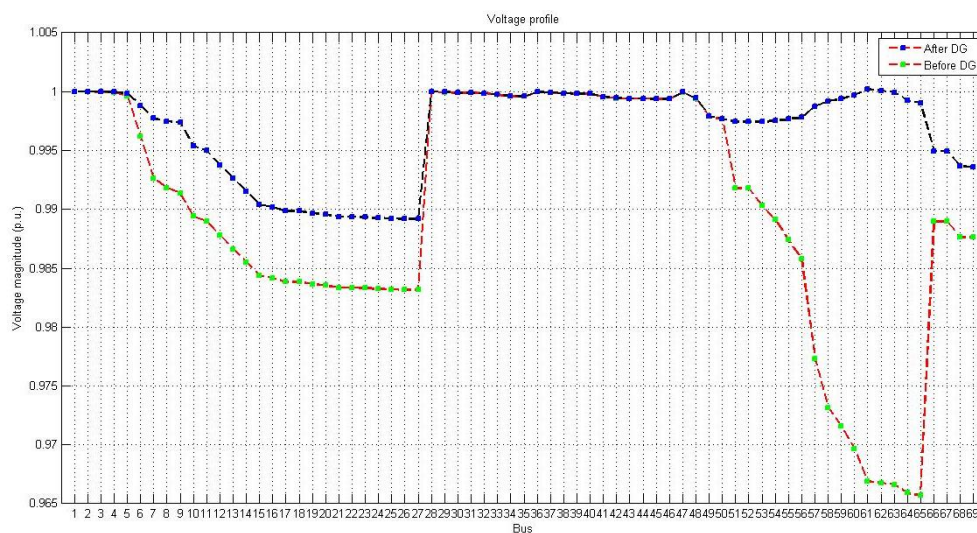
```

**Gambar 4.11 Lokasi dan Kapasitas DG di Sistem 69-bus pada Matlab**

**Tabel 4.3 Lokasi dan kapasitas DG Optimal Sistem 69-Bus**

No.	Iterasi ke-	<i>Interprocedural Optimization (IPO)</i>	Lokasi Optimal DG (bus ke-)	Kapasitas DG (kWp)	Rugi daya
1.	1	99	61	1898.65	1.8 kw ke 0.4 kw
2.	2	99	61	1898.65	1.8 kw ke 0.4 kw
Std. Deviasi			61	1898.65	1.4 kw

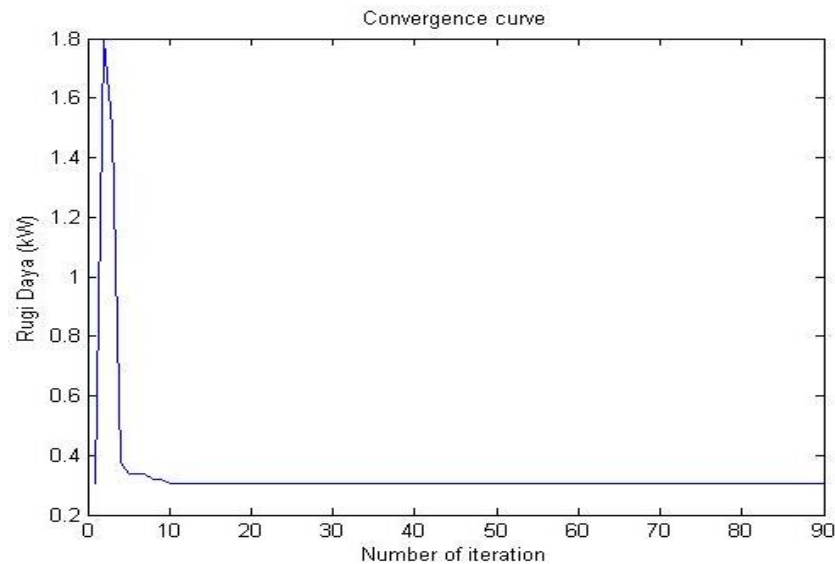
Pada penelitian dengan data 69-bus, program ALO menentukan lokasi posisi DG yang optimal di bus 61 dengan kapasitas 1898.65 kWp. Jika kita lihat pada **Gambar 4.12** bahwa profil tegangan sebelum penambahan DG pada bus 61 mengalami penurunan hingga 0.96 p.u sebelum adanya penambahan DG. Kemudian setelah dilakukan penambahan DG, profil tegangan dapat meningkat hingga 1 p.u.

**Gambar 4.12 Profil Tegangan 69-Bus setelah penambahan DG**

#### 4.7.1 Fungsi Tujuan Mengurangi Rugi Daya

Setelah dilakukan perbaikan tegangan, fungsi tujuannya adalah untuk mengurangi rugi daya. Pada Studi kasus 2 dengan 69 bus ini menaikkan

tegangan dari 0.96 p.u. hingga 1 p.u pada lokasi bus penempatan DG. Sehingga dapat dilihat **Gambar 4.13** dibawah bahwa fungsi tujuan ini mengalami konvergen pada ieterasi 5 dengan nilai rugi daya yang dapat dikurangi sebesar 1.5 kw.



**Gambar 4.13 Fungsi Tujuan Meminimalkan Rugi Daya Sistem 69-bus**

#### 4.7.2 Load Line Index (LLI) di sistem 69 bus

Indeks beban bus pada sistem 69-bus dapat dilihat perkembangan perkembangan bus seperti pada **Gambar 4.14**. dilihat bahwa dari sistem 69-bus, perkembangan untuk 20 tahun mendatang menjadi 83-bus. Nilai perkembangan bus didapatkan berdasarkan pada persamaan 2.77. Nilai dari perbandingan perkembangan beban sistem 69-bus seperti **Tabel 4.4**.

```

Command Window
Load_Increment =
77.0922

Load_Increment =
78.3124

Load_Increment =
79.5325

Load_Increment =
80.7527

Load_Increment =
81.9729

Load_Increment =
83.1931

Load_Increment =
83.1931

InvestmentCost =
1.1392e+06

```

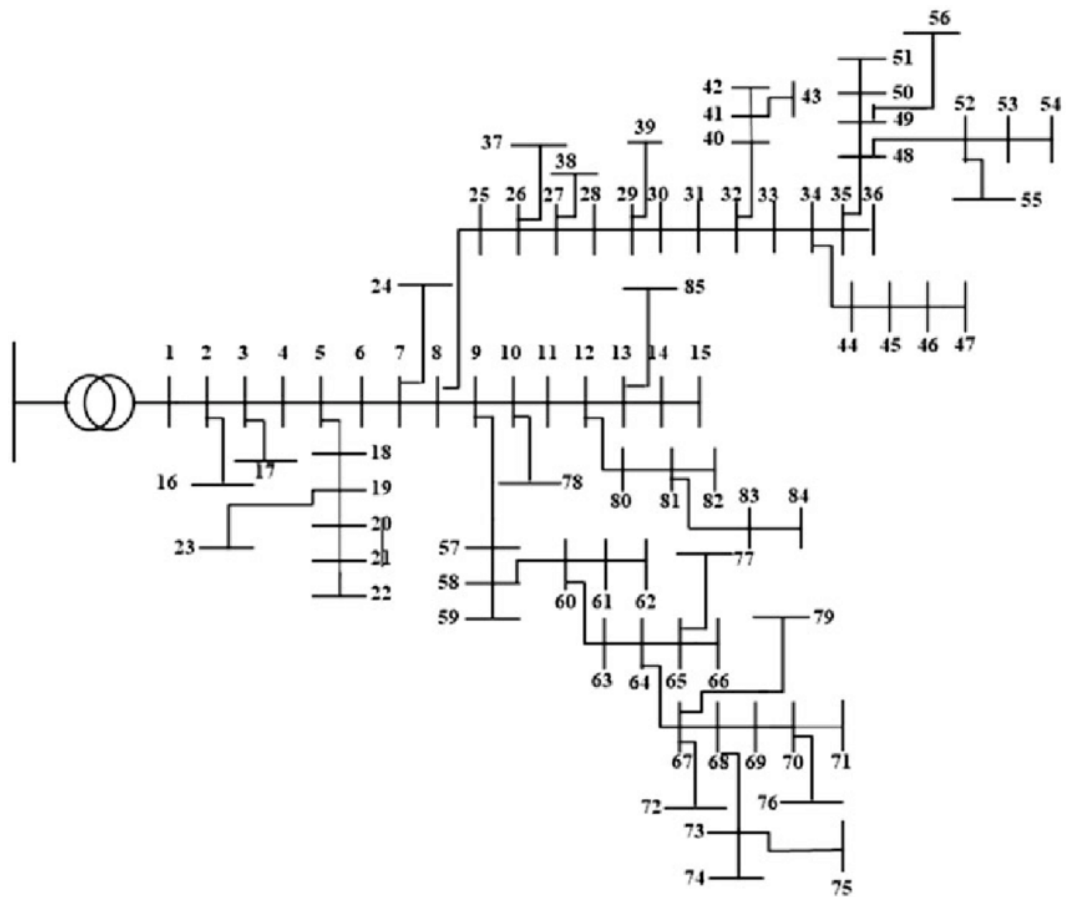
**Gambar 4.14** *Load Line Index* di sistem 69-bus

**Tabel 4.4** *Load line index* Sistem 69-bus

Sistem Distribusi	69-bus
Perkiraan beban bus 20 tahun mendatang	83-bus

#### 4.8 Studi kasus 3

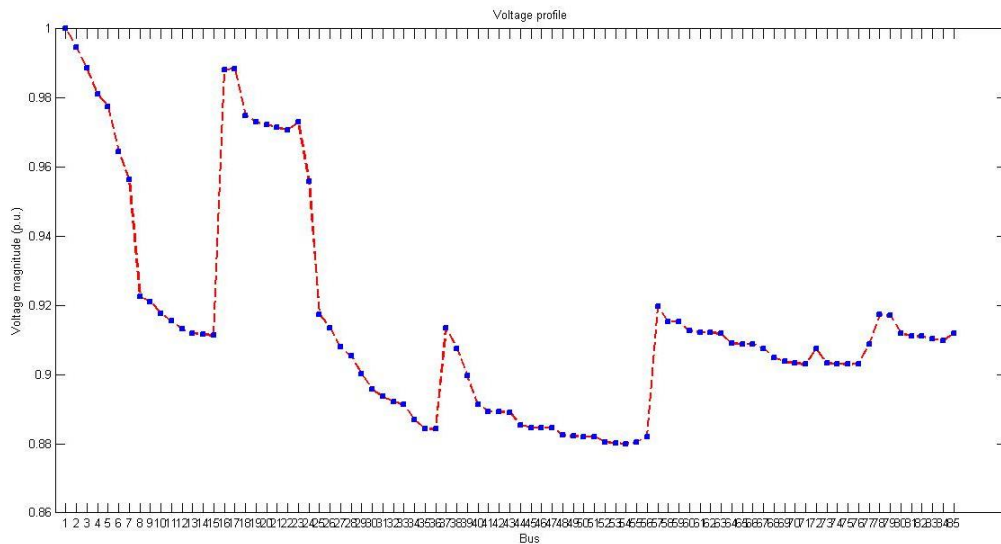
Studi kasus 3 merupakan pengujian 3 dari Sistem Distribusi Radial 85-Bus standar IEEE. Tujuan dari simulasi 3 ini adalah untuk mengetahui karakteristik profil tegangan dari Sistem Distribusi Radial 85-Bus ketika sebelum penambahan DG dan sesudah adanya penambahan DG di dalam Sistem Distribusi. Bentuk dari Sistem Distribusi Radial 85-Bus dapat dilihat seperti pada **Gambar 4.15**. Pada sistem distribusi radial 85-bus memiliki struktur jaringan dan struktur beban pada masing-masing bus. Struktur jaringan ini seperti pada lampiran nomer 5.



**Gambar 4.15 Struktur Jaringan Standar IEEE 85-bus**

Pada bentuk sistem distribusi 85-bus tersebut dapat dilihat karakteristik awal tanpa adanya DG seperti pada **Gambar 4.16**. Dimana nilai tegangan jatuh terendah sebesar 0.88 p.u pada bus 33 dan bus 53. Hal ini sangat jauh dari standar tegangan terima yang ditetapkan yakni -10% atau 0.96 p.u. jatuh tegangan yang jauh dari batasan biasanya dapat menimbulkan kedip tegangan di sisi penerima. Selain itu juga dapat merusak peralatan elektronik pada pelanggan penggunaan listrik di sistem distribusi tersebut. Disisi PLN juga dapat menyebabkan rugi-rugi daya yang disalurkan akibat sistem distribusi radial tersebut. Rugi daya ini biasanya berupa panas pada penghantar. Dalam analisis ini nilai 1 p.u (per unit) merupakan basis data dari trngan 20 kV.





**Gambar 4.16 Profil Tegangan 85 Bus**

Berdasarkan program ALO yang sudah dilakukan simulasi, dihasilkan bahwa posisi dan kapasitas DG yang optimal untuk sistem distribusi radial 85-bus terdapat pada bus 8. Dimana kapasitas yang optimal untuk memperbaiki profil tegangan sebesar 13760.87 kWp. Nilai lokasi dan kapasitas DG dapat dilihat di **Tabel 4.5** atau pada **Gambar 4.17** yang merupakan hasil tampilan pada matlab di *command windows*.

```

Command Window
101.4960

Load_Increment =
102.7162

Load_Increment =
102.7162

InvestmentCost =
8.2565e+06

MaintenanceCost =
2.7603e+07

LossesCost =
1.6094e+07

ENS_cost =
1.0000e+10

Total number of evaluations: 9900
Best solution= 8      13760.8748
Elite_antlion_fitness: 874.8758
Elapsed time is 220.873073 seconds.
>>

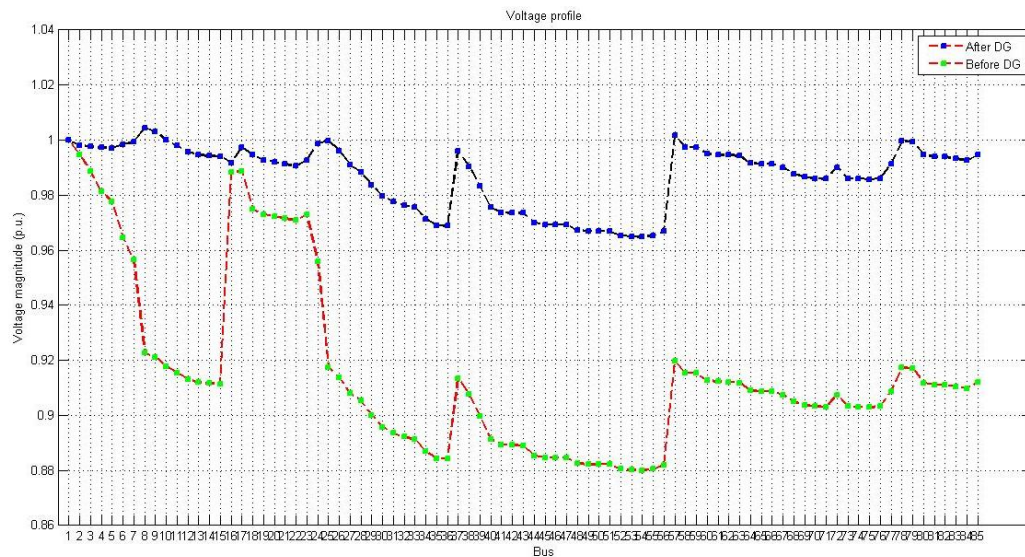
```

**Gambar 4.17 Lokasi dan Kapasitas DG Sistem 85 bus pada Matlab**

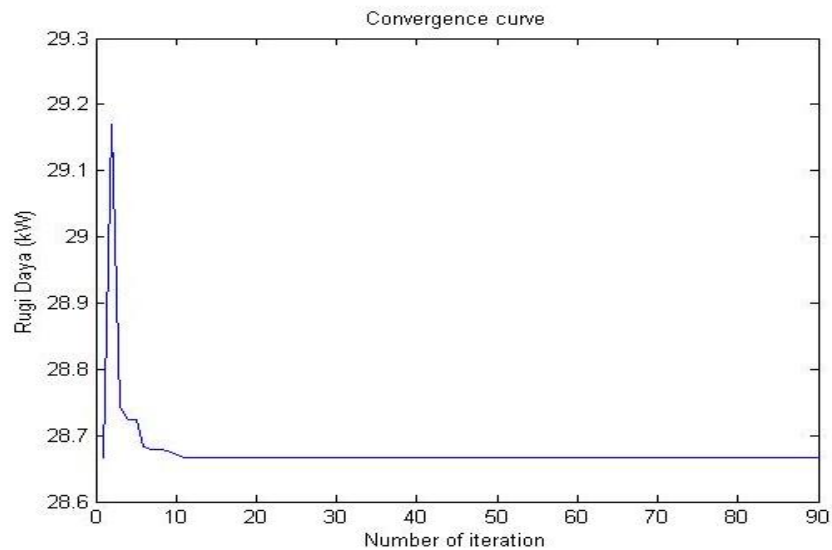
**Tabel 4.5 Lokasi dan Kapasitas DG yang optimal**

No.	Iterasi ke-	<i>Interprocedural Optimization</i> (IPO)	Lokasi Optimal DG (bus ke-)	Kapasitas DG (kWp)	Rugi daya
1.	1	99	8	13760.87	29.2 kw ke 28.6 kw

Sehingga sebagai indikator keberhasilan adanya penambahan DG dapat dilihat pada **Gambar 4.18**. Gambar tersebut menampilkan profil tegangan sistem distribusi 85-bus awal dan setelah perbaikan adanya penambahan DG. Setelah penambahan DG dengan kapasitas 13760.87 kWp dengan penempatan pada bus 8, dapat dilihat bahwa profil tegangan mengalami gejolak. Gejolak tersebut adalah pada bus 8 yang sebelumnya 0.88 p.u mengalami kenaikan hingga 1.01 p.u. Pada profil tegangan tanpa DG pada bus 43 mengalami penurunan hingga 0.88 p.u, dan ketika setelah adanya penambahan DG mengalami kenaikan hingga 0.97 p.u.

**Gambar 4.18 Perbaikan Profil Tegangan 85-Bus**

#### 4.8.1 Fungsi Tujuan Mengurangi Rugi Daya



**Gambar 4.19 Fungsi Tujuan Mengurangi Rugi Daya Sistem 85-bus**

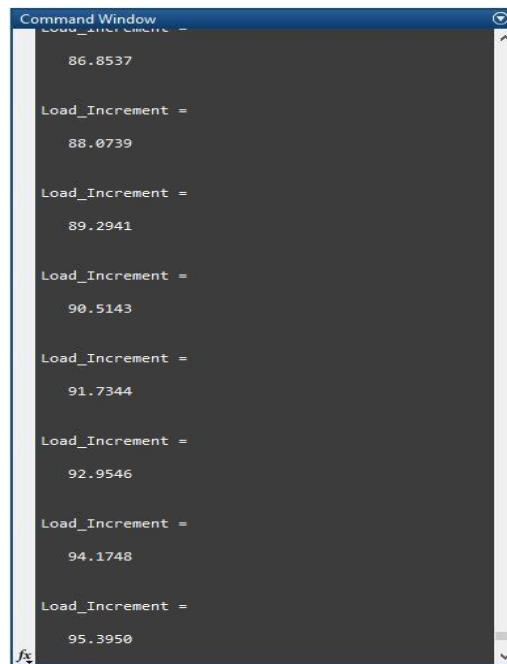
Fungsi tujuan yang dihasilkan dari iterasi pertama hingga mengalami konvergensi sampai pada iterasi ke 11. Dapat dilihat bahwa pada **Gambar 4.19** nilai rugi daya yang dapat dikurangi akibat penambahan DG sampai mengalami konvergensi pada sistem distribusi radial 85-bus sebesar 0.6 kW.

#### 4.8.2 Load Line Index (LLI)

Indek beban pada bus di sistem jaringan 85 bus dihitung berdasarkan persamaan 2.77. didapatkan hasil perkembangan bus untuk 20 tahun mendatang sebesar 95-bus, ditampilkan pada *command windows* matlab seperti pada **Gambar 4.20**. Dari hasil komputasi Matlab bahwa perkembangan beban bus untuk 20 tahun mendatang dari 85-bus menjadi 95-bus, seperti pada **Tabel 4.6**.

**Tabel 4.6 Load line index Sistem 85-bus**

Sistem Distribusi	85-bus
Perkiraan beban bus 20 tahun mendatang	95-bus

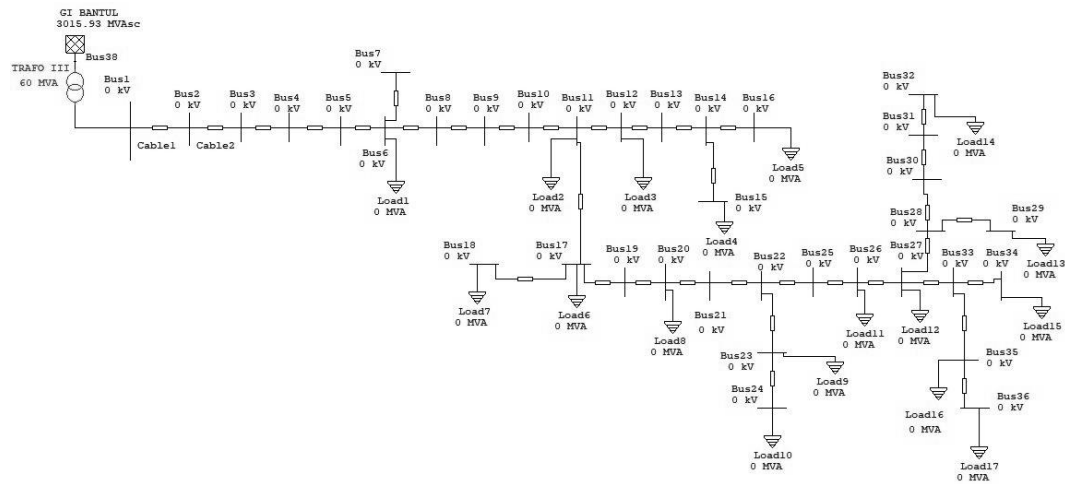


**Gambar 4.20** *Load Line Index* pada Sistem 85-Bus

#### 4.9 Studi kasus 4

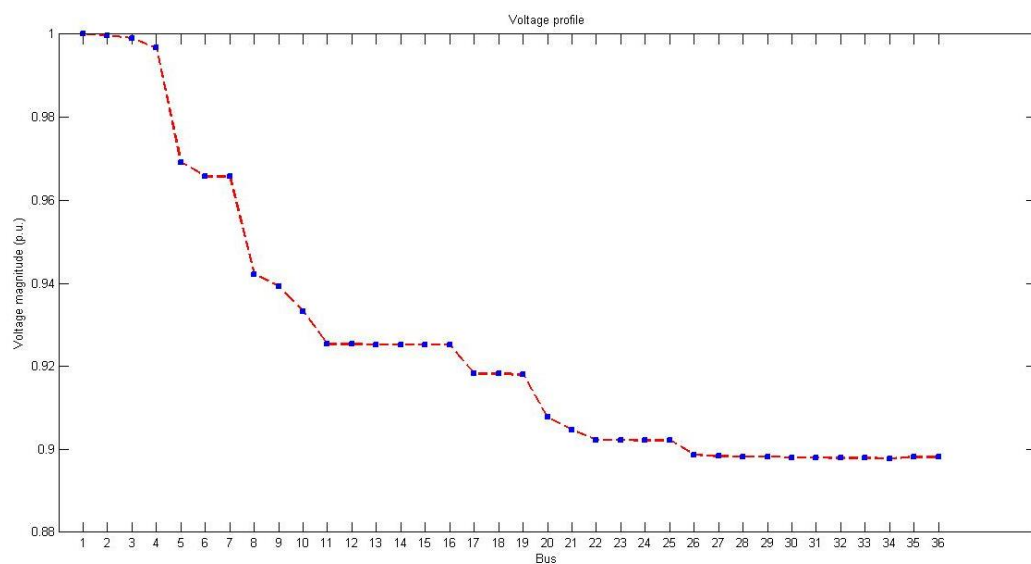
Studi kasus 4 ini merupakan implementasi dari penelitian ini kedalam sistem distribusi riil. Dalam penerapannya, penelitian ini menggunakan data pada Penyulang 5 Gardu Induk Bantul. Gardu Induk Bantul merupakan unit penyaluran tenaga listrik milik PT.PLN khususnya Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Yogyakarta. Gardu induk ini memiliki kapasitas 3051.93 MVA dengan tegangan tinggi sebesar 150 kV. Kemudian dalam penyaluran sistem tenaga ke pusat-pusat beban, dihubungkan ke 3 buah trafo *step down* dengan kapasitas masing-masing sebesar 60 MVA. Trafo *step down* ini mengubah tegangan 150 kV menjadi 20 kV yang digunakan sebagai sistem distribusi ke pusat-pusat beban. Pada penelitian ini yakni menggunakan data penyulang 11 secara keseluruhan atau keluaran dari trafo *step down* 3 bagian penyulang 5. Bentuk Sistem Distribusi Radial penyulang 5 keluaran Trafo 3 dilihat seperti pada **Gambar 4.21**.

Profil tegangan yang diamati pada penelitian ini pada sistem distribusi adalah sebesar 20 kV. Nilai 20 kV ini dianggap sebagai basis data untuk analisis profil tegangan maksimal 1 p.u (Per Unit).



**Gambar 4.21 Struktur Penyulang 5 Gardu Induk Bantul**

Struktur jaringan ini merupakan data kabel dan *Line* didalam etap pada penyulang 5 keluaran trago 3 di Sistem Distribusi Bantul yang kemudian dimasukkan dalam matlab. Data struktur jaringan dapat dilihat pada lampiran nomer 6. Struktur beban tiap Bus dalam lampiran nomer 7 dimana data masing – masing bus merupakan data yang muncul akibat besarnya beban yang terhubung ke bus selanjutnya. Data ini berupa data daya aktif (P) dan data daya reaktif (Q). bentuk profil tegangan awal pada sistem distribusi penyulang 5 GI Bantul seperti pada **Gambar 4.22**.



**Gambar 4.22 Profil Tegangan Penyulang 5**

Simulasi yang dilakukan pada Matlab yakni dengan melakukan *running* program dengan perulangan sebanyak 90 proses perhitungan di Matlab untuk mendapatkan hasilnya 1 kali. Pada **Tabel 4.7** merupakan hasil perulangan 10 kali dari proses perhitungan pada Matlab. Dari 10 kali simulasi tersebut didapatkan posisi yang optimal beruntun yakni lokasi Pembangkit Tersebar (DG) di bus 17 dengan kapasitas DG 3110.63 kWp. Tampilan lokasi dan kapasitas DG pada Matlab seperti pada **Gambar 4.23**.

Besarnya rugi daya yang dapat diminimalkan berdasarkan 10 simulasi dengan penurunan paling besar pada simulasi ke 4 yakni 0.2 kW. Untuk mengetahui grafik lebih jelasnya bisa dilihat pada **Gambar 4.25**. Pada simulasi yang dilakukan tidak dilakukan *clear command windows* terlebih dahulu.

```

Command Window
41.7067

Load_Increment =
42.9268

Load_Increment =
42.9268

InvestmentCost =
1.8664e+06

MaintenanceCost =
6.2397e+06

LossesCost =
8.8734e+04

ENS_cost =
1.0000e+10

Total number of evaluations: 9900
Best solution= 17 3110.6278
Elite_antlion_fitness: 4.8236
Elapsed time is 99.613391 seconds.
>>

```

**Gambar 4.23 Lokasi dan Kapasitas DG Sistem Bantul di Matlab**

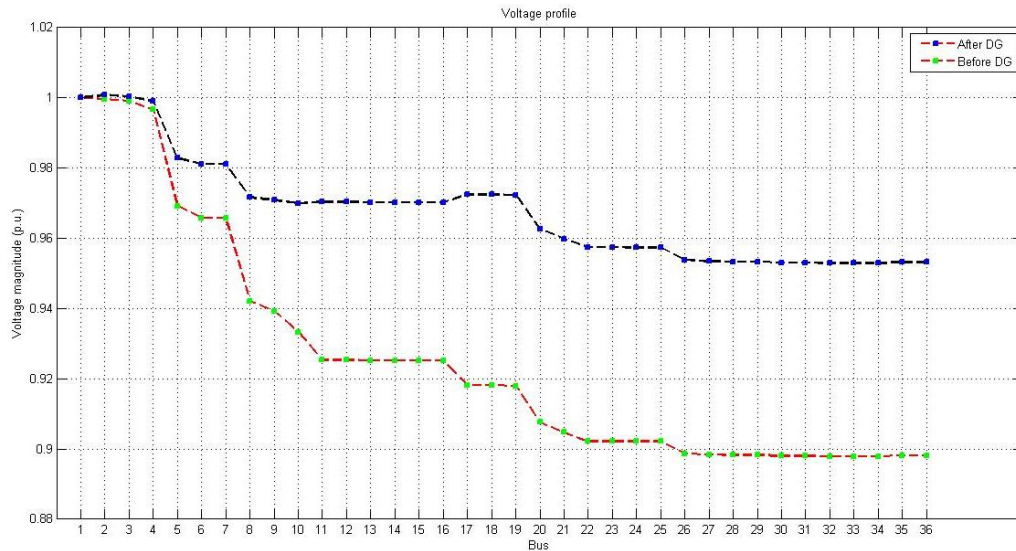
**Tabel 4.7 Hasil 10 kali simulasi penempatan DG**

No.	Iterasi ke-	<i>Interprocedural Optimization</i> (IPO)	Lokasi DG (bus ke-)	Kapasitas DG (kW)	Rugi daya
1.	1	99	17	3110.63	4.778 kw ke 4.67 kw

**Tabel 4.7 (Lanjutan)**

2.	2	99	17	3110.63	4.778 kw ke 4.67 kw
3.	3	99	17	3110.63	4.778 kw ke 4.67 kw
4.	4	99	17	3110.63	4.86 kw ke 4.76 kw
5.	5	99	17	3110.63	4.79 kw ke 4.76 kw
6.	6	99	17	3110.63	4.776 kw-4.776 kw
7.	7	99	17	3110.63	4.79 kw ke 4.76 kw
8.	8	99	17	3110.63	4.77 kw ke 4.76 kw
9.	9	99	17	3110.63	4.768 kw ke 4.766 kw
10.	10	99	17	3110.63	4.78 kw ke 4.76 kw
Std. Deviasi			17	3110.63	0.2 kw

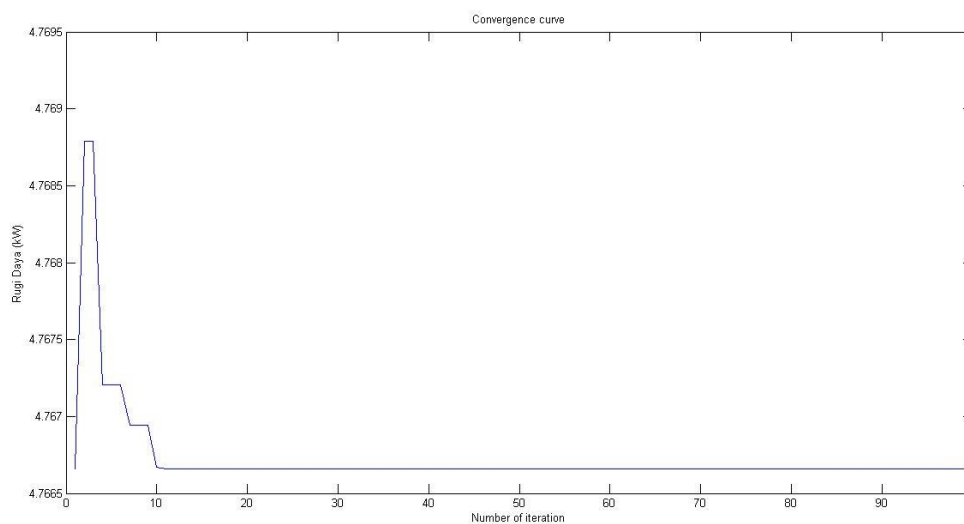
Hasil dari perbaikan profil tegangan dapat dilihat seperti Gambar 4.24. Dari hasil simulasi yang dilakukan bahwa penempatan DG yang optimal pada bus 17. Dalam bus 17 yang belum penambahan DG nilai tegangan sebesar 0.92 p.u dan diikuti nilai tegangan bus yang turun. Kemudian setelah dilakukan *optimal DG placement* dengan penambahan di bus 17 nilai perbaikan tegangan pada bus 17 adalah 0.97 p.u. Dalam penambahan 1 DG nilai tegangan di bus 26 sampai dengan 36 nilainya masih 0.957 p.u.



Gambar 4.24 Perbaikan Profil Tegangan

#### 4.9.1 Fungsi Tujuan Meminimalkan Rugi Daya

Fungsi tujuan ini dihitung berdasarkan pada persamaan 2.71 untuk meminimalkan rugi daya. Dari hasil simulasi ini didapatkan hasil seperti Gambar 4.17. Dari hasil diketahui bahwa nilai rugi-rugi daya yang dapat diminimalkan ketika memulai 10 perulangan pertama. Nilai rugi daya tertinggi 4.88 kW, kemudian dapat diminimalkan menjadi 4.66 kW saat perulangan ke 10.



Gambar 4.25 Meminimalkan Rugi Daya



#### 4.9.2 Meminimalkan biaya-biaya

Biaya-biaya yang dihitung merupakan biaya – biaya perawatan, biaya Rugi daya, biaya operasi dan biaya dari energi yang tidak disuplai. Nilai biaya ini berdasarkan pada persamaan 2.72, 2.73, 2.74, dan persamaan 2.75. Sehingga nilai-nilai perhitungan yang didapatkan pada **Tabel 4.8** tersebut didapatkan hasil dalam nilai kurs dolar.

**Tabel 4.8 Biaya – biaya DG**

Parameter	Unit	Nilai
<i>DG investment cost</i>	\$/DG	1886040000
<i>Energy Not Supply (ENS) cost</i>	\$/kWh	1000010
<i>DG maintenance cost</i>	\$/kWh	6237060000
<i>Interest rate</i>	%	12.5
<i>Inflation rate</i>	%	9
<i>Planning period (DG life time)</i>	year	20

#### 4.9.3 Load Line Index (LLI)

*Load Line index* atau perhitungan perkembangan beban bus di aplikasi ke sistem distribusi riil. Dari hasil komputasi didapatkan nilai perkembangan beban bus untuk 20 tahun mendatang terlihat pada **Gambar 4.26**. Dari jumlah 36 bus pada sistem Distribusi Bantul, hasil perhitungan perkembangan beban menjadi 42 beban bus, seperti pada **Tabel 4.9**.

**Tabel 4.9 Load Line index Penyulang 5**

Sistem Distribusi	36-bus
Perkiraan beban bus 20 tahun mendatang	42-bus
<i>Load Line Index</i>	1.1667

```

Command Window
Load_Increment =
35.6057
Load_Increment =
36.8259
Load_Increment =
38.0461
Load_Increment =
39.2663
Load_Increment =
40.4865
Load_Increment =
41.7067
Load_Increment =
42.9268
Load_Increment =
42.9268

```

**Gambar 4.26 Perkembangan Beban Bus di Sistem Distribusi Bantul**

#### 4.10 Hasil Simulasi dan Analisis

**Tabel 4.10** menunjukkan hasil kesimpulan dari skenario 1 dengan sistem distribusi radial 33 bus, kemudian skenario 2 dengan sistem distribusi radial 69 bus, dan skenario 3 dengan sistem distribusi radial 85 bus. Setelah penambahan DG, dalam pengujian 33 bus dan 69 bus terlihat memiliki nilai tegangan minimal dan tegangan maksimal yang sama dan sudah diatas dari batas standar tegangan + 5% atau 1.05 p.u dan -10% atau 0.96 pu.

**Tabel 4.10 Hasil Perbandingan Sistem Distribusi Standar IEEE**

Parameter yang diukur	33 Bus	69 Bus	85 Bus
Faktor Daya	0.85	0.85	0.85
Bus Optimal	6	61	8
Kapasitas DG (kWp)	2554.23 kwp	1898.65 kwp	13760.87 kwp
$\Delta$ Rugi Daya	0.05 kW	1.4 kW	0.6 kW
$V_{min}$ P.U dengan DG	0.986	0.989	0.97
$V_{min}$ P.U tanpa DG	0.968	0.965	0.88
$V_{max}$ P.U dengan DG	1	1	1.01

**Tabel 4.10 (lanjutan)**

$V_{max}$ P.U tanpa DG	0.998	1	0.99
Penambahan <i>Load Bus</i>	39-bus	83-bus	95-bus
<i>Load Line Index (LLI)</i>	1.1818	1.2028	1.1176

Bila dibandingkan dengan hasil dari programming *Flower Pollination Algorithm* (FPA), sistem metode optimasi *Ant Lion Optimizer* (ALO) hampir memiliki kesamaan. Kesamaan tersebut pada lokasi bus yang optimal, namun memiliki sedikit perbedaan untuk kapasitas DG yang dibutuhkan. Hal ini seperti pada **Tabel 4.11**.

**Tabel 4.11 Perbandingan Metode ALO dan FPA**

	33 Bus	69 Bus	85 Bus
Lokasi (ALO)	6	61	8
Lokasi (FPA)	6	61	-
Kapasitas (ALO)	2554.23 kwp	1898.65 kwp	13760.87 kwp
Kapasitas (FPA)	2588.7 kW	1888.9 kW	-

