

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Gambaran Umum**

Berikut adalah beberapa hal penting di dalam kriteria desain sistem distribusi tenaga listrik:

1. Faktor Daya
2. Standar Mutu Tegangan
3. Susut Energi
4. Keandalan

Beberapa standar yang digunakan PT PLN distribusi Jawa Tengah dan DIY untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) adalah:

1. Kabel *Power* didesain minimal 300 mm<sup>2</sup> dan JTM keluar GI minimal 240 mm<sup>2</sup>.
2. Pembebanan penyulang tidak melebihi 70% dari kapasitas penyaluran untuk memenuhi kriteria sebelumnya.
3. Kualitas tegangan *busbar* TM di Gardu Induk minimal 20 KV fase-fase dan 11,5 KV fase-netral.
4. Jatuh tegangan JTM 20 KV paling ujung disyaratkan maksimal 5,45% sehingga tegangan ujung yang disyaratkan minimal 18.91 KV fase-fase.

5. Untuk percabangan JTM harus tetap mempertimbangkan keseimbangan beban di penyulang.

## 4.2 Penyulang 7 GI Bantul

### 4.2.1 Struktur Jaringan

Penyulang Bantul 7 merupakan jaringan distribusi primer 20 KV radial yang disuplai dari trafo III 60 MVA Gardu Induk Bantul. Penyulang ini mempunyai beban total trafo distribusi sebesar 17.790 KVA yang tersebar di sepanjang saluran yang dimulai dari GI Bantul sampai ke ujung saluran di daerah Samas, Srigading dan berjumlah 341 trafo distribusi. Panjang saluran utama (*main feeder*) 16.8 km dari total keseluruhan gawang/tiang dengan asumsi jarak antar tiang 50 m. Data di atas terdapat pada *Single Line Diagram* (SLD) dan data trafo BNL 07 yang terlampir pada bagian lampiran. Berikut adalah tabel dari data trafo dan pembebanan GI Bantul *feeder* BNL 07 yang diteliti, untuk selanjutnya data tersebut dimasukkan dalam simulasi terkait judul dalam penelitian ini.

Tabel 4.1. Data Trafo dan Pembebanan GI Bantul Penyulang BNL 07 yang diteliti

No	Feeder	No Pole	Kapasitas Trafo (KVA)	Beban			
				%	S (KVA)	P (KW)	Q (KVAr)
1	BNL 07	s1_172z_88	50	73.00	36.50	31.03	19.23
2	BNL 07	s1_172z_89	50	59.60	29.80	25.33	15.70
3	BNL 07	s1_172z_93	50	17.09	8.55	7.26	4.50
4	BNL 07	s1_172z_96	250	40.19	100.49	85.41	52.93
5	BNL 07	s1_172z_109E	175	67.45	118.04	100.33	62.18
6	BNL 07	s1_172z_113G	50	49.43	24.72	21.01	13.02
7	BNL 07	s1_172z_123_8	225	48.61	109.38	92.97	57.62
8	BNL 07	s1_172z_123_17	250	54.61	136.52	116.04	71.92
9	BNL 07	s1_172z_148	575	47.97	275.81	234.44	145.29
10	BNL 07	s1_172z_152	125	40.79	50.99	43.34	26.86
11	BNL 07	s1_172z_160	50	65.07	32.54	27.65	17.14
12	BNL 07	s1_172z_160l	50	84.04	42.02	35.72	22.13
13	BNL 07	s1_172z_180	50	52.44	26.22	22.29	13.81

Tabel 4.1 merupakan data yang diambil untuk percobaan pada penelitian ini, dengan pertimbangan bahwa No Pole s1\_172z\_88 sampai dengan No Pole s1\_172z\_180 merupakan *section* terakhir pada *feeder* BNL 07 atau titik terjauh dari GI Bantul yang terletak di daerah pantai Samas, sehingga peletakkan DG pada lokasi ini diduga akan berpengaruh baik pada penurunan *losses*.

Berikut adalah dugaan pengaruh *losses* pada jaringan distribusi di *section* terakhir *feeder* BNL 07:

1. Semakin jauh saluran maka *losses* diduga akan semakin besar, di mana perkalian antara panjang saluran dengan nilai resistansi saluran akan mempengaruhi besar *losses*.

#### **4.2.2 Saluran Penghantar**

Konstruksi jaringan terdiri dari saluran udara dan saluran kabel dari kubikel 20 KV sampai tiang pertama, dengan penampang kawat AAAC 240 mm<sup>2</sup> untuk saluran utama (*main feeder*) dan 120 mm<sup>2</sup> untuk saluran cabang tiga fase 4 kawat dan AAAC 70 mm<sup>2</sup> untuk saluran cabang satu fase dua kawat.

Data tahanan ( $R$ ) dan reaktansi ( $X_L$ ) penghantar AAAC tegangan 20 KV (dikutip dari SPLN 64: 1985) dapat dilihat pada table 4.2. Sementara untuk data penelitian saluran dari GI Bantul ke jaringan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.2. Data Tahanan (R) dan Reaktansi ( $X_L$ ) Penghantar AAAC Tegangan 20 KV

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Jari-jari (mm)	Impedansi Urutan Positif (Ohm/Km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/Km)
16	2.2563	2.0161 + j 0.4036	2.1641 + j 1.6911
25	2.8203	1.2903 + j 0.3895	1.4384 + j 1.6770
35	3.3371	0.9217 + j 0.3790	1.0697 + j 1.6665
50	3.9886	0.6452 + j 0.3678	0.7932 + j 1.6553
70	4.7193	0.4608 + j 0.3572	0.6088 + j 1.6447
95	5.4979	0.3096 + j 0.3449	0.4876 + j 1.6324
120	6.1791	0.2688 + j 0.3376	0.4168 + j 1.6324
150	6.9084	0.2162 + j 0.3305	0.3631 + j 1.6180
185	7.6722	0.1744 + j 0.3239	0.3224 + j 1.6114
240	8.7386	0.1344 + j 0.3158	0.2824 + j 1.6034

Tabel 4.3. Data Total Tahanan (R) dan Reaktansi ( $X_L$ ) pada Jaringan *Plant* Percobaan

Dari - ke	Panjang	Z1 (Ohm per km)		Total (Ohm)	
	(km)	R	X	R	X
GI - s1_172z_88	13.95	0.3144	0.3158	4.38588	4.40541
s1_172z_88 - s1_172z_89	0.35	0.3144	0.3158	0.11004	0.11053
s1_172z_89 - s1_172z_93	0.05	0.3144	0.3158	0.01572	0.01579
s1_172z_93 - s1_172z_96	0.2	0.3144	0.3158	0.06288	0.06316
s1_172z_96 - s1_172z_109E	0.15	0.3144	0.3158	0.04716	0.04737
s1_172z_109E - s1_172z_113G	0.65	0.3144	0.3158	0.20436	0.20527
s1_172z_113G - s1_172z_123_8	0.2	0.3144	0.3158	0.06288	0.06316
s1_172z_123_8 - s1_172z_123_17	0.5	0.3144	0.3158	0.1572	0.1579
s1_172z_123_17 - s1_172z_148	0.5	0.3144	0.3158	0.1572	0.1579
s1_172z_148 - s1_172z_152	1.25	0.3144	0.3158	0.393	0.39475
s1_172z_152 - s1_172z_160	0.2	0.3144	0.3158	0.06288	0.06316
s1_172z_160 - s1_172z_160I	0.4	0.3144	0.3158	0.12576	0.12632
s1_172z_160I - s1_172z_180	0.4	0.3144	0.3158	0.12576	0.12632
s1_172z_180 - s1_172z_180X	1	0.3144	0.3158	0.3144	0.3158

### 4.3 Pemodelan Bantul 7 Menggunakan Matlab

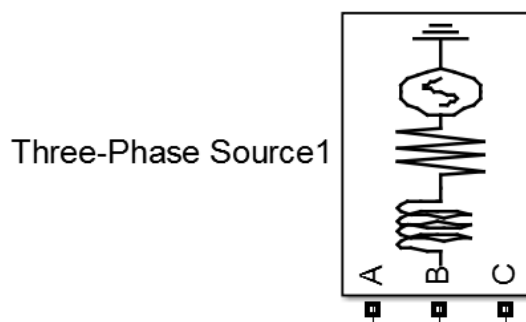
MATLAB (*Matrix Laboratory*) yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan

operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dll. Sehingga Matlab banyak digunakan pada:

- Matematika dan Komputasi
- Pengembangan dan Algoritma
- Pemrograman *modeling*, *simulation*, dan pembuatan prototipe
- Analisa Data, eksplorasi dan visualisasi
- Analisis numerik dan statistik
- Pengembangan aplikasi teknik

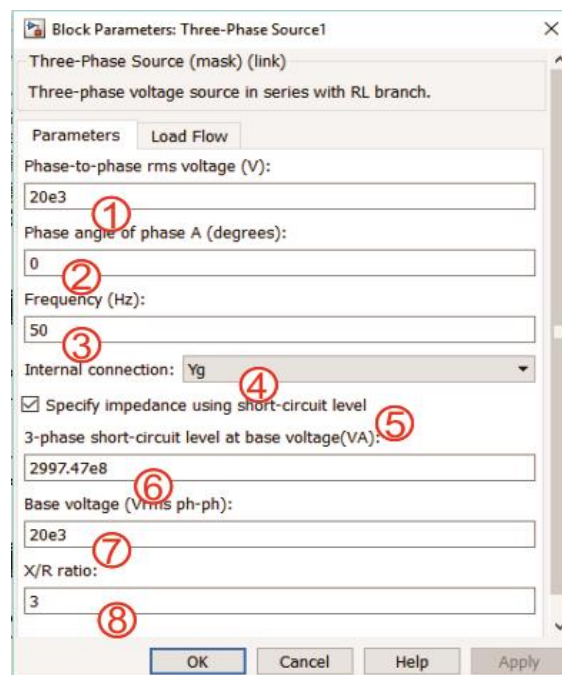
Diantara pemanfaatan MATLAB di atas, pemrograman *modeling* dan *simulation* dipilih untuk digunakan dalam penelitian ini. Dengan memanfaatkan *Simulink Browser* dalam aplikasi MATLAB, maka pemodelan dan simulasi data penelitian pada tabel 4.2 dan 4.3 dapat dijalankan dengan *run system*. Berikut adalah penjelasan mengenai gambar *Block Parameters* yang digunakan dalam penelitian:

#### 1. *Three-Phase Source1*



Gambar 4.1. *Block Parameters Three-Phase Source1*

Gambar 4.1 merupakan pemodelan dari penerapan GI Bantul 150 KV yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan ke sistem distribusi sekaligus menjadi titik awal dalam sistem distribusi tenaga listrik. Gambar 4.2 dan 4.3 merupakan penjelasan mengenai keterangan pada *Block Parameters : Three-Phase Source1*.



Gambar 4.2. Keterangan *Block Parameters Three-Phase Source1*

Berikut adalah penjelasan dari keterangan gambar 4.2:

1. *Phase-to-phase rms voltage (V)*

20.000 V merupakan nilai dari penurunan tegangan sistem transmisi (150 KV -500 KV) menjadi 20 KV pada Gardu Induk.

2. *Phase angle of phase A (degrees)*

Nilai nol (0) merupakan titik berangkat dari fase A

### 3. *Frequency (Hz)*

Frekuensi yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz.

### 4. *Internal connection*

Hubungan Yg merupakan penerapan dalam sistem distribusi di DIY yaitu sistem 3 fase 4 kawat dengan pemakaian kawat netral dipakai bersama dengan sisi sekunder dan primer.

### 5. *Specify impedance using short-circuit level*

Pemberian tanda  $\sqrt{\phantom{x}}$  bertujuan untuk menentukan impedansi internal dengan menggunakan tingkat arus pendek induktif dan rasio X/R.

### 6. *3-phase short-circuit level at base voltage (VA)*

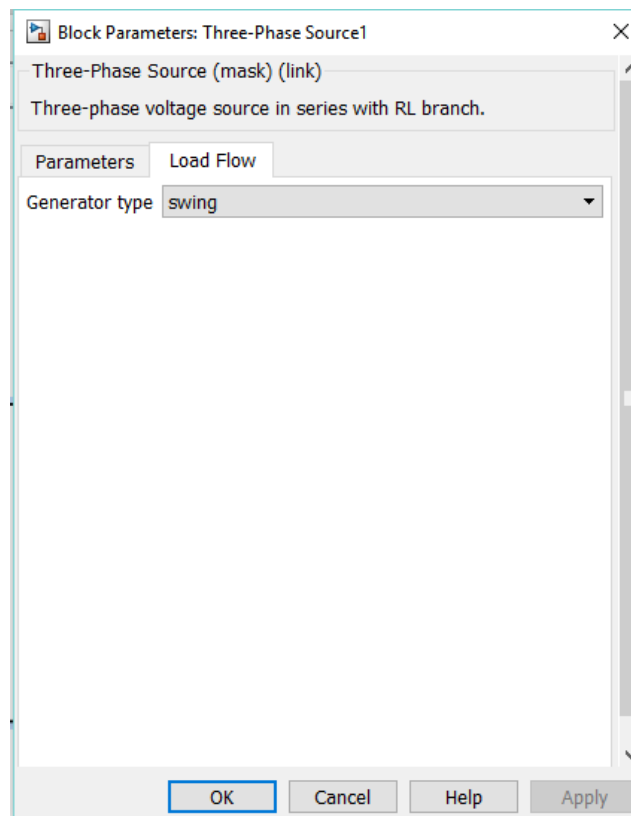
Daya arus pendek induktif tiga fase dalam *volt-amperes* (VA) dengan tegangan pangkal tertentu adalah digunakan untuk menghitung induktansi internal (L).

### 7. *Base voltage (Vrms ph-ph)*

Tegangan pangkal ( $V_{base}$ ) fase ke fase dalam tegangan rms (Vrms) digunakan untuk menentukan tingkat arus pendek fase ke fase. Tegangan pangkal biasanya adalah tegangan nominal.

### 8. *X/R ratio*

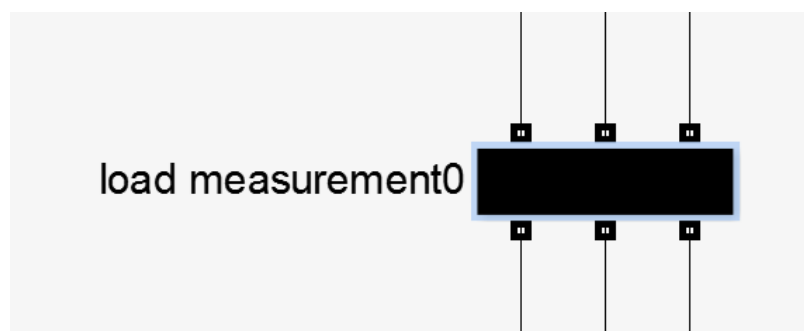
Nilai rasio X/R diambil dari hasil bagi antara nilai reaktansi dan resistansi.



Gambar 4.3. Keterangan *Load Flow Block Parameters Three-Phase Source1*

Pemilihan tipe *swing* pada *generator* dimaksudkan sebagai penerapan dalam menjaga kestabilan sistem tenaga listrik pada saat peralihan (*transient*) akibat gangguan tertentu.

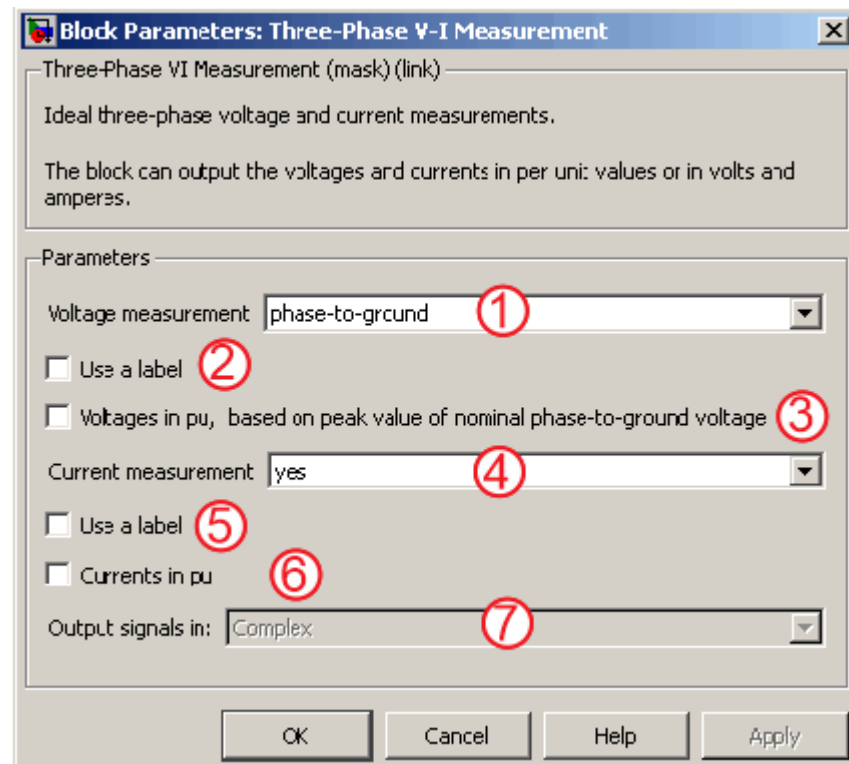
## 2. *Load Measurement0*



Gambar 4.4. *Block Parameters Load Measurement0*



Gambar 4.4 merupakan pemodelan dari bus-bus pada jaringan distribusi listrik yang kemudian dapat difungsikan untuk pengukuran arus dan tegangan terkhusus dengan *software* MATLAB dalam penelitian ini. Berikut akan dijelaskan lebih detil melalui keterangan gambar 4.5.



Gambar 4.5. Keterangan *Block Parameters Three-Phase V-I Measurement*

Berikut adalah penjelasan dari keterangan pada gambar 4.5:

1. *Voltage measurement*

Dalam pengukuran tegangan tiga fasa terdapat dua pilihan yaitu *phase-to-ground* dan *phase-to-phase*.

2. *Use a label*

Jika keterangan ini dipilih maka akan ada pengalamatan (*label*) yang menjadi alamat tujuan dari pengukuran tegangan. Untuk membaca hasil

pengukuran tegangan dapat dibantu dengan menggunakan *From Block* pada *Library Browser Simulink Matlab*.

### 3. *Voltages in pu*

Jika keterangan ini dipilih hasil pengukuran tegangan *phase-to-ground* akan dikonversi dalam satuan *per unit* (pu).

### 4. *Current measurement*

Jika keterangan ini dipilih “yes” maka *load measurement* dapat berfungsi sebagai pengukuran arus yang melalui *block* tersebut.

### 5. *Use a label*

Jika keterangan ini dipilih maka akan ada pengalamatan (*label*) yang menjadi alamat tujuan dari pengukuran arus. Untuk membaca hasil pengukuran arus dapat dibantu dengan menggunakan *From Block* pada *Library Browser Simulink Matlab*.

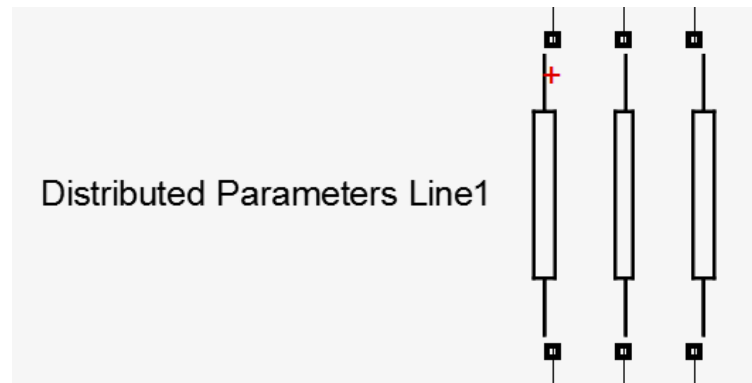
### 6. *Currents in pu*

Jika keterangan ini dipilih hasil pengukuran arus *phase* akan dikonversi dalam satuan *per unit* (pu).

### 7. *Output signals*

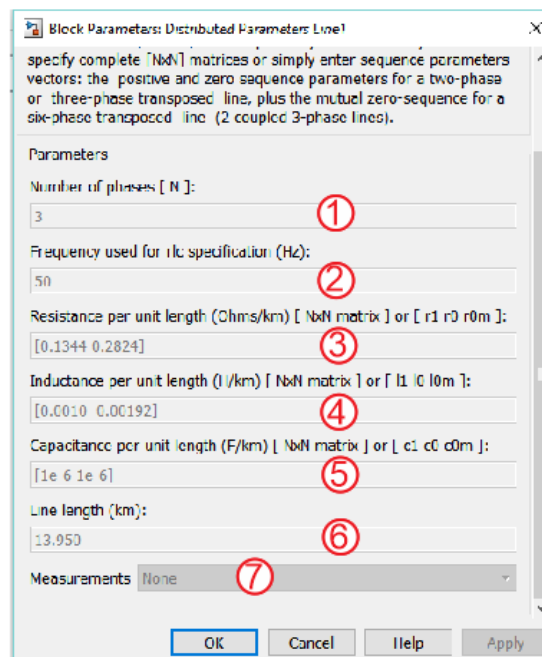
*Complex* merupakan pilihan dari *Output signals* yang keluaran dari pengukuran tegangan dan arus akan berupa sinyal kompleks.

## 3. *Distributed Parameters Line*



Gambar 4.6. *Block Distributed Parameters Line1*

Gambar 4.6 merupakan pemodelan dari saluran penghantar dalam sistem distribusi listrik. Berikut akan dijelaskan lebih detil melalui gambar 4.7.



Gambar 4.7. Keterangan *Block Parameters Distributed Parameters Line1*

Berikut adalah penjelasan dari keterangan gambar 4.7:

1. *Number of phases N*

Keterangan ini menjelaskan untuk menentukan jumlah fase.

## 2. *Frequency used for rlc specifications*

Keterangan ini menjelaskan untuk menentukan frekuensi yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan frekuensi 50 Hz. Nilai frekuensi ini juga akan digunakan untuk menghitung nilai resistansi ( $r$ ), induktansi ( $l$ ) dan kapasitansi ( $c$ ).

## 3. *Resistance per unit length*

Penentuan nilai resistansi mengacu pada tabel 4.2. Berkenaan dengan nilai 240 mm<sup>2</sup> sebagai pilihan luas penampang pada saluran penghantar AAAC tegangan 20 KV maka nilai impedansi urutan positif 0,1344 Ohm/km dan urutan negatif 0,2824 Ohm/km.

## 4. *Inductance per unit length*

Penentuan nilai induktansi diperlukan persamaan rumus sebagai berikut:

$$jX_L = j\omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f}$$

Berkenaan dengan nilai 240 mm<sup>2</sup> sebagai pilihan luas penampang pada saluran penghantar AAAC tegangan 20 KV dan merujuk pada rumus di atas maka nilai induktansi impedansi urutan positif 0,0010 Ohm/km dan urutan negatif 0,0051 Ohm/km.

#### 5. *Capacitance per unit length*

Menurut Hadi Saadat pada buku “*Power Plant Analysis*” bahwa kapasitansi pada saluran bisa diabaikan atau dianggap nol (0) jika panjang saluran kurang dari 80 km (*short line*). Menimbang panjang saluran distribusi yang diteliti sekitar 17 km maka referensi diatas bisa digunakan untuk memasukkan nilai kapasitansi saluran. Namun nilai 0 tidak dapat diterima oleh Matlab maka pilihan lain dengan mengganti nilai sekecil-kecilnya.

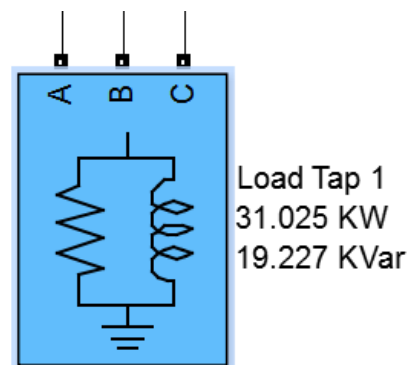
#### 6. *Line length*

Keterangan ini adalah menjelaskan tentang panjang saluran penghantar. Satuan yang digunakan adalah (km).

#### 7. *Measurements*

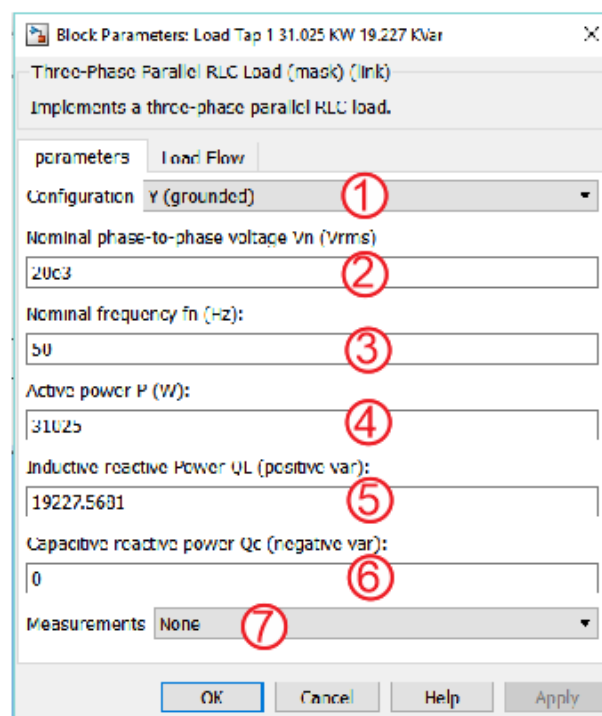
Keterangan ini digunakan untuk pengukuran tegangan tiap fase. Pengukuran bisa dilihat dengan menggunakan *Block multimeter* pada model percobaan.

#### 4. *Load Tap 1*



Gambar 4.8. *Block Load Tap 1*

Gambar 4.8 merupakan pemodelan dari trafo distribusi. Sementara nilai daya baik aktif ataupun reaktif merupakan data beban pada trafo distribusi yang diambil dari APJ PLN Bantul. Parameter *block load tap 1* akan dijelaskan lebih detail pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Keterangan *Block Parameters Load Tap 1*

Berikut penjelasan keterangan dari gambar 4.9.:

1. *Configuration*

Konfigurasi Y (*grounded*) adalah penerapan 3 fase 4 kawat dengan netral diketanahkan.

2. *Nominal phase-to-phase voltage (Vn)*

Nilai tegangan dari fase ke fase adalah 20.000 V

### 3. *Nominal frequency $f_n$*

Frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 Hz

### 4. *Active power $P$*

Mengacu pada persamaan rumus segitiga daya dan data penelitian pada tabel 4.1 maka daya dalam VA dapat dikonversi menjadi satuan *Watt*. Berikut contoh perhitungan dari konversi satuan di atas:

$$S = \text{Daya semu (VA)}$$

$$P = S \times \cos \phi$$

$$P = 36500 \times 0.85$$

$$= 31025 \text{ W} = 31.025 \text{ KW}$$

### 5. *Inductive reactive power $QL$*

Mengacu pada persamaan rumus segitiga daya dan data penelitian pada tabel 4.1 maka daya dalam VA dapat dikonversi menjadi satuan VAr (Daya reaktif). Berikut persamaan rumusnya:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{36500^2 - 31025^2}$$

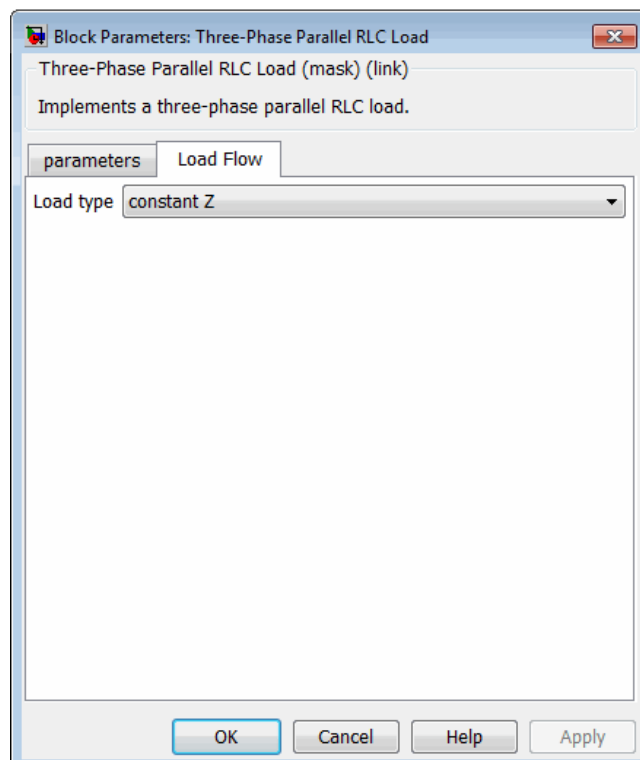
$$Q = 19227.5681 \text{ VAr} = 19.227 \text{ KVAr}$$

## 6. *Capacitive reactive power QC*

Nilai nol (0) pada keterangan *Capacitive reactive power* adalah merujuk pada profil beban di Bantul yang memang tidak bersifat kapasitif. Melainkan hanya bersifat resistif dan induktif (RL).

## 7. *Measurements*

Keterangan ini berfungsi untuk pengukuran arus dan tegangan. Pengukuran dapat dibantu dengan menggunakan *block multimeter* pada model percobaan.



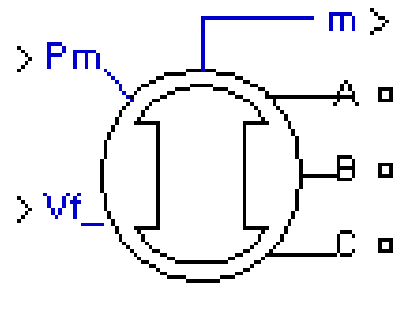
Gambar 4.10. Keterangan *Block Parameters Three-Phase Parallel RLC Load*



Pemilihan *constant Z* pada keterangan gambar 4.10 bermaksud bahwa impedansi beban ditentukan dari tagangan nominal fase ke fase ( $V_n$ ), data aktif ( $P$ ), dan daya reaktif ( $Q_L - Q_C$ ) yang ditentukan pada *Block Parameter Load Tap1*.

#### 4.4 Distributed Generation (DG)

DG merupakan salah satu variabel dalam penelitian ini, di mana variabel tersebut akan berpengaruh pada variabel lain yaitu nilai *losses*. Namun untuk pengaruh DG terhadap *losses* akan dibahas pada poin 4.6 Hasil Simulasi dan Analisis. Berikut adalah pemodelan DG yang digunakan pada Matlab.



Gambar 4.11. *Block Shynchronous Machine pu Standard*

Pemodelan DG pada gambar 4.11 merupakan penerapan dari generator sinkron dengan tipe rotor kutub silindris (*round*). Pemilihan konstruksi rotor tergantung dari kecepatan putar penggerak mula, frekuensi dan rating daya generator. Pada kutub silindris, konstruksi kutub magnet rata dengan permukaan rotor yang membentuk silinder. Rotor silinder ini umumnya digunakan untuk rotor dua kutub dan empat kutub. Rotor ini biasanya digerakkan dengan kecepatan tinggi.

Pertimbangan pemilihan tipe silindris pada rotor generator sinkron karena biasanya tipe ini digunakan dengan kecepatan 1500 rpm ke atas pada frekuensi 50 Hz. Frekuensi tersebut juga menjadi pertimbangan tersendiri, karena memang frekuensi yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz.

#### **4.5 Optimalisasi *Plant* Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)**

Pada penelitian ini, PSO merupakan bagian dari metode atau bahkan bisa disebut sebagai alat untuk membantu menentukan kapasitas DG dalam optimalisasi sistem distribusi tenaga listrik, pada kasus ini adalah untuk meminimalisir rugi-rugi daya (*losses*).

##### **4.5.1 Hubungan PSO dengan *Plant***

Merujuk pada *losses* sebagai variabel dalam penelitian ini, maka selain *listing* algoritma PSO terdapat juga *listing losses* yang bertujuan menampilkan nilai-nilai *losses* pada Matlab.

##### **4.5.1.1 *Listing* PSO**

Berikut adalah penjelasan *listing* algoritma PSO berdasarkan pada *plant* percobaan:

1. Fungsi tujuan (*objective function*) pada penelitian ini adalah untuk menentukan kapasitas DG yang menghasilkan *losses* minimum. Berikut gambar dan penjelasan dari fungsi tujuan pada PSO penelitian ini:

```

for ir=1:Juml_Particles
    VA1=posisi_particle(1,ir);

    VA1_matrix0(ir)=VA1;

    sim('UMYverb1')
    HitungLosses
    ITAE=Ploss+Qloss;
    fitness_particle(ir)=ITAE;

    ITAE_matrix0(ir)=ITAE;
end

```

Gambar 4.12. Listing Fungsi Tujuan PSO

Gambar *listing* 4.12 menjelaskan bahwa variabel VA1 merupakan fungsi tujuan pada penelitian ini yaitu menentukan nilai kapasitas DG. PSO pada penelitian ini melibatkan fasilitas *modeling* pada Simulink Matlab, di mana variabel VA1 dan nilai *losses* (*Plosses* + *Qlosses*) dipanggil dari fasilitas tersebut. VA1 merupakan hasil yang senantiasa berubah (*update*) berdasarkan pergerakan atau perubahan posisi partikel, dalam hal ini perubahan nilai kapasitas DG (VA1) akan berdampak pada nilai *losses*. Sedangkan ITAE merupakan variabel penentu apakah nilai yang didapatkan dari perubahan VA1 layak dibuang atau dipertahankan.

2. *Constraint* pada Algoritma PSO merupakan batasan-batasan yang tidak dapat dilanggar oleh solusi yang ditemukan. Dalam kasus ini sudah barang tentu bahwa untuk menentukan kapasitas DG dalam *plant*

terdapat batasan-batasan yang telah ditentukan. Berikut gambar listing dan penjelasannya:

```

Rb1 = 0;   Ra1 = 4;

for ir=1:Juml_Particles
    posisi_particle1=Rb1+(Ra1-Rb1)*rand(1,ir);
    posisi_particle=[posisi_particle1];
end

```

Gambar 4.13. Listing Constraint PSO

Gambar 4.13 menjelaskan Rb1 merupakan batas bawah sementara Ra1 merupakan batas atas. Nilai yang tertera pada Rb1 dan Ra1 merupakan batasan solusi yang ditawarkan pada PSO. Karena fungsi tujuan adalah nilai kapasitas DG, maka *constraint* sangat berkaitan dalam menentukan *range* kapasitas DG. Jika parameter penentuan DG pada *modeling* Simulink Matlab dituliskan “VA1\*10e5” maka nilai *range* kapasitas DG yang akan menjadi solusi kisaran 0 sampai 400.000VA. Nilai tersebut merupakan hasil perkalian antara nilai *constrain* (0 - 4) dengan 10e5 (100.000). Pertimbangan batasan tersebut adalah berdasarkan *load demand* pada *plant* percobaan kisaran 327,725 KVA, sehingga batasan maksimum 400 KVA merupakan argumentasi awal jika untuk kemungkinan DG dapat menopang sepenuhnya jaringan *plant* tersebut tanpa saluran daya dari GI Bantul. Kemungkinan lain juga bisa dengan tipe *swing* pada generator GI Bantul maka generator tersebut akan

menyesuaikan penyaluran daya berdasarkan kapasitas DG pada BNL 7, jika kapasitas DG yang ditemukan oleh Algoritma PSO adalah 100 KVA kisaran 30,5 % dari kebutuhan daya, maka sisa kebutuhan daya yaitu 69.5 % ditopang oleh GI Bantul.

3. *Fitness* pada Algoritma PSO berfungsi untuk mendapatkan posisi terbaik dengan melakukan pembaharuan (*updating*) posisi dan kecepatan setiap *particle* yang akan melakukan optimasi. Berikut terdapat dua gambar *listing fitness* PSO pada penelitian ini:

```

kec_particle=w *kec_particle+c1*(R1.*(posisi_terbaik_lokal-posisi_particle))+c2*(R2.*(posisi_terbaik_global-posisi_particle));

% (d) Update Posisi Partikel
%   x_ij=x_ij+v_ij

posisi_particle = posisi_particle+kec_particle;

```

Gambar 4.14. *Listing Update* Posisi dan Kecepatan Partikel

```

% Mencari Terbaik

fitness_terbaik_lokal=fitness_particle;
[fitness_terbaik_global, indeks]=min(fitness_terbaik_lokal);

```

Gambar 4.15. *Listing Fitness* PSO

Gambar 4.15 menjelaskan bahwa fungsi *fitness* terbaik global diambil dari nilai *fitness* minimum pada *fitness* terbaik lokal. Nilai *fitness* minimum tersebut berdasarkan nilai kapasitas DG dan *losses* sebagai fungsi tujuan.

#### 4.5.1.2 *Listing Menghitung Losses*

*Losses* merupakan salah satu variabel yang kemudian akan dianalisis berdasarkan penentuan kapasitas DG melalui Algoritma PSO. Pada gambar 4.12 telah dijelaskan bahwa nilai *losses* terhitung berdasarkan nilai kapasitas DG sebagai fungsi tujuan. Berikut langkah-langkah beserta gambar *listing* dalam menghitung *losses* pada *plant* percobaan:

1. *Import* data *tapping* 1 – 13 dari pemodelan *plant* percobaan melalui fasilitas Simulink pada Matlab

```

%Arus fasa RST tapping 2
I2R=Is1_172z_89.signals.values(:,1);
I2S=Is1_172z_89.signals.values(:,2);
I2T=Is1_172z_89.signals.values(:,3);

%Arus fasa RST tapping 3
I3R=Is1_172z_93.signals.values(:,1);
I3S=Is1_172z_93.signals.values(:,2);
I3T=Is1_172z_93.signals.values(:,3);

```

Gambar 4.16. *Listing Import* Data dari Pemodelan *Plant* Percobaan

Gambar 4.16 merupakan sampel *listing* dari *tapping* 2 dan 3 pada pemodelan *plant* percobaan. Data yang diimport merupakan data arus fasa R-S-T dengan pengalamatan seperti pada gambar (*Is1\_172z\_89* dan *Is1\_172z\_93*). Kode alamat ini sebelumnya telah dibuat pada *block load measurement* pada pemodelan *plant* percobaan di fasilitas Simulink Matlab.

2. Mengubah data dalam bentuk *Root Mean Square* (RMS)

Data yang diubah dalam bentuk RMS adalah arus tiap fase yaitu R,S, dan T.

```

for i=1:601

    I1R(i)=I1R(i)*I1R(i);
    I1S(i)=I1S(i)*I1S(i);
    I1T(i)=I1T(i)*I1T(i);

    I2R(i)=I2R(i)*I2R(i);
    I2S(i)=I2S(i)*I2S(i);
    I2T(i)=I2T(i)*I2T(i);

```

Gambar 4.17. *Listing* Pengkuadratan Data (Arus fasa R,S,T)

Gambar 4.17 merupakan langkah pertama dalam pengubahan arus ke dalam bentuk arus rms yaitu dengan mengkuadratkan arus fasa R,S, dan T. Selanjutnya langkah kedua adalah merata-rata data, yaitu dari penjumlahan data yang telah dikuadratkan pada gambar 4.17 kemudian setiap data tersebut dibagi jumlah data yaitu 601. Langkah terakhir yaitu hasil dari langkah kedua diakar kuadratkan. Gambar *listing* 4.18 merupakan gabungan antara langkah dua dan tiga:

```

Irms1R=(sqrt(sum(I1R)/601));
Irms1S=(sqrt(sum(I1S)/601));
Irms1T=(sqrt(sum(I1T)/601));

Irms2R=(sqrt(sum(I2R)/601));
Irms2S=(sqrt(sum(I2S)/601));
Irms2T=(sqrt(sum(I2T)/601));

```

Gambar 4.18. *Listing* Langkah Dua dan Tiga Irms

### 3. Menghitung $P_{losses}$ dan $Q_{losses}$ jaringan tiap *tapping*

Berikut gambar *listing* sampel perhitungan  $losses$  aktif ( $P_{losses}$ ) dan reaktif ( $Q_{losses}$ ) jaringan pada *tapping* satu:

```
R= 0.1344; XL= 0.3158;

Ploss1R=(sqrt(sum(I1R)/601))^2*R*13.950;
Ploss1S=(sqrt(sum(I1S)/601))^2*R*13.950;
Ploss1T=(sqrt(sum(I1T)/601))^2*R*13.950;
Qloss1R=(sqrt(sum(I1R)/601))^2*XL*13.950;
Qloss1S=(sqrt(sum(I1S)/601))^2*XL*13.950;
Qloss1T=(sqrt(sum(I1T)/601))^2*XL*13.950;
```

Gambar 4.19. *Listing* Menghitung  $Losses$  Jaringan *Tapping* Satu

*Listing* pada gambar 4.19 merupakan penerjemahan dari persamaan rumus sebagai berikut:

$$P_{losses} = I_{rms}^2 \cdot R$$

$$Q_{losses} = I_{rms}^2 \cdot X_L$$

Keterangan:

$P_{losses}$  = Nilai  $losses$  resistif

$Q_{losses}$  = Nilai  $losses$  reaktif

$R = 0.1344$ , angka tersebut merupakan nilai tahanan resistif tiap satu kilometer (km).



$X_L = 0.3158$ , angka tersebut merupakan nilai tahanan induktif tiap satu kilometer (km).

$I_{rms}$  = adalah hasil penerjemahan dari sampel *listing* ( $\sqrt{\text{sum}(IIR)/601}$ ). *Listing* tersebut menjelaskan pencarian nilai fase R pada *tapping* satu. Penjelasan *listing* ini terkait dengan 4.17 dan 4.18.

#### 4. Menjumlahkan hasil *Plosses* dan *Qlosses* tiap *tapping*

Gambar 4.20 adalah *listing* untuk menjumlahkan tiap *tapping* baik *Plosses* ataupun *Qlosses* pada *plant* percobaan untuk menemukan *Plosses* total dan *Qlosses* total tiap fase.

```

PlossR= Ploss1R + Ploss2R + Ploss3R + Ploss4R + Ploss5R + Ploss6R + Ploss7R + Ploss8R + Ploss9R + Ploss10R + Ploss11R + Ploss12R + Ploss13R;
PlossS= Ploss1S + Ploss2S + Ploss3S + Ploss4S + Ploss5S + Ploss6S + Ploss7S + Ploss8S + Ploss9S + Ploss10S + Ploss11S + Ploss12S + Ploss13S;
PlossT= Ploss1T + Ploss2T + Ploss3T + Ploss4T + Ploss5T + Ploss6T + Ploss7T + Ploss8T + Ploss9T + Ploss10T + Ploss11T + Ploss12T + Ploss13T;
Ploss= PlossR + PlossS + PlossT;

QlossR= Qloss1R + Qloss2R + Qloss3R + Qloss4R + Qloss5R + Qloss6R + Qloss7R + Qloss8R + Qloss9R + Qloss10R + Qloss11R + Qloss12R + Qloss13R;
QlossS= Qloss1S + Qloss2S + Qloss3S + Qloss4S + Qloss5S + Qloss6S + Qloss7S + Qloss8S + Qloss9S + Qloss10S + Qloss11S + Qloss12S + Qloss13S;
QlossT= Qloss1T + Qloss2T + Qloss3T + Qloss4T + Qloss5T + Qloss6T + Qloss7T + Qloss8T + Qloss9T + Qloss10T + Qloss11T + Qloss12T + Qloss13T;
Qloss= QlossR + QlossS + QlossT;

```

Gambar 4.20. *Listing* Menghitung Total *Losses* Jaringan pada *Plant* Percobaan

### 4.5.2 Prinsip Kerja PSO

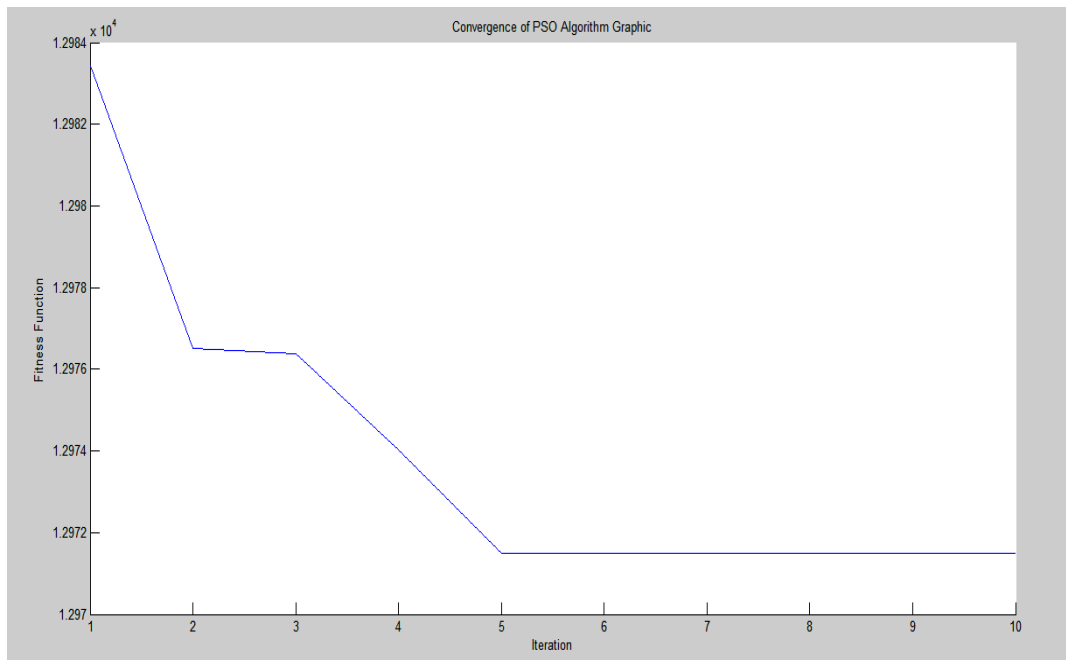
Berikut prinsip kerja Algoritma PSO dalam *plant* percobaan:

1. Kawan (swarm) dari sejumlah partikel mulanya ditentukan secara *random* (acak) untuk posisi dan kecepatan awal pada setiap partikel.

2. Ketika iterasi mulai berjalan (*running*) maka masing-masing partikel memiliki satu solusi. Partikel yang memiliki solusi paling baik (*local best*) akan menjadi titik acuan partikel lain agar bergerak mendekati ke arah solusi terbaik tersebut.
3. Setiap kali pergerakan partikel akan selalu dievaluasi, jika dalam evaluasi diperoleh *fitness* yang lebih baik dari pada titik acuan sebelumnya, maka *fitness* tersebut menjadi titik acuan baru untuk pergerakan partikel lainnya.
4. PSO sebagai AI pada akhirnya akan menampilkan hasil akhir (*final result*) dengan kemampuannya yaitu menyimpan *fitness* terbaik selama PSO berjalan (*running*).

#### **4.6 Hasil Simulasi dan Analisis**

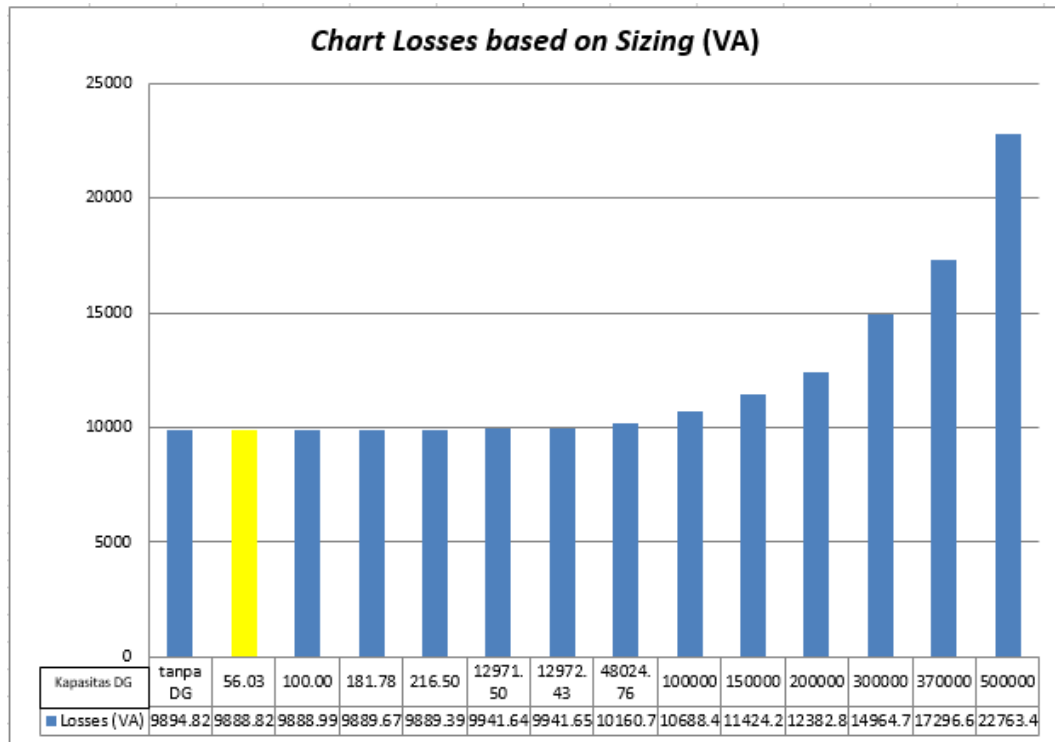
Simulasi Algoritma PSO dijalankan selama 10 iterasi dengan 10 partikel. Berdasarkan hasil simulasi tersebut diperoleh hasil di mana semua partikel menuju ke satu nilai yang sama atau konvergen. Berikut grafik konvergensi dari Algoritma PSO:



Gambar 4.21. *Convergence of PSO Algorithm Graphic*

Grafik pada gambar 4.21 menjelaskan bahwa fungsi *fitness* dalam mendapatkan posisi terbaik partikel Algoritma PSO telah ditemukan pada iterasi ke lima yaitu dengan nilai *fitness* 12971.50387. Berkenaan dengan iterasi selanjutnya (6 – 10) tidak menemukan nilai *fitness* yang lebih baik dari pada *fitness* yang ditemukan pada iterasi ke lima, maka *fitness* tersebut menjadi hasil akhir hingga berakhirnya iterasi.

Nilai *fitness* tersebut merupakan posisi terbaik di mana fungsi tujuan dari penentuan kapasitas DG sekaligus menurunkan *losses* diperoleh. Kapasitas DG yang diperoleh dari simulasi Algoritma PSO adalah 56.03 VA dengan *losses* minimum 9888.823 VA. Kemudian untuk menguji keberhasilan dari nilai yang diperoleh dengan Algoritma PSO berikut disertakan tabel dan grafik hubungan nilai kapasitas DG dengan *losses* yang dihasilkan:



Gambar 4.22. Chart Losses based on Sizing

Tabel 4.4. Data Pengaruh Kapasitas DG terhadap Losses

Keterangan	Kapasitas DG (VA)	Losses		
		P (W)	Q (Var)	S (VA)
Tanpa DG	-	3874.7826	9104.586	9894.817976
VA matrix	56.03	3872.4352	9099.07	9888.823635
Manual	100.00	3,872.5018	9099.227	9888.993625
VA matrix	181.78	3873.6143	9099.491	9889.672511
VA matrix	216.50	3872.6556	9099.588	9889.38639
Manual	12971.50	3893.1198	9147.6728	9941.644705
Manual	12972.43	3893.1227	9147.68	9941.652097
VA matrix	48024.76	3978.8863	9349.199	10160.66183
Manual	100000	4185.5622	9834.826	10688.43887
Manual	150000	4473.6979	10511.86	11424.23504
Manual	200000	4849.0832	11393.9	12382.83551
Manual	300000	5860.1301	13769.56	14964.69025
Manual	370000	6773.3046	15915.25	17296.61348
Manual	500000	8914.0841	20945.44	22763.40354

Berikut penjelasan berdasarkan grafik dan tabel di atas:

1. Pada tabel 4.4 terdapat tiga keterangan yaitu:
  - a. Tanpa DG : keterangan tersebut menjelaskan *losses* yang terdapat pada *plant* percobaan yang mengacu pada penyulang Bantul 7.
  - b. VA matrix : keterangan tersebut menjelaskan bahwa nilai kapasitas dan *losses* diperoleh dari simulasi Algoritma PSO.
  - c. Manual : Keterangan tersebut menjelaskan bahwa kapasitas ditentukan secara manual untuk mempengaruhi nilai *losses*.
2. Berdasarkan tabel 4.4 dan grafik pada gambar 4.22 menunjukkan bahwa simulasi Algoritma PSO dapat berfungsi sebagaimana yang diharapkan yaitu memperoleh fungsi tujuan dalam hal ini kapasitas DG yang dapat menurunkan *losses* pada *plant* percobaan.
3. Pemasangan DG pada jaringan distribusi terkhusus di penyulang Bantul 7 berhasil menurunkan *losses*. Berikut rincian perhitungannya:

$$X = \text{Hasil akhir losses}$$

$$X = S_{\text{losses tanpa DG}} - S_{\text{losses dengan DG}}$$

$$X = 9894.817976 - 9888.823635$$

$$X = 5.994341 \text{ VA}$$

Berdasarkan perhitungan di atas menjelaskan bahwa pemasangan DG dapat bertujuan untuk menurunkan *losses* pada jaringan distribusi.

4. Melihat kapasitas dari pencarian Algoritma PSO adalah sebesar 56.03 VA, kemudian berkenaan dengan tipe *swing* pada generator GI Bantul maka DG yang terpasang di jaringan distribusi dapat mengurangi penyaluran daya dari Gardu Induk sekitar 0.015 %.

