

APLIKASI METODE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION UNTUK OPTIMASI PENEMPATAN DAN JUMLAH PEMASANGAN KAPASITOR PADA PENYULANG BLAHKIUH

I Wayan Darma Satika¹, Rukmi Sari Hartati², Widyadi Setiawan³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: santikamilan@gmail.com¹, rukmisari@unud.ac.id², widyadi@unud.ac.id³

ABSTRAK

Penyaluran daya listrik di kawasan Badung Tengah dan Badung Utara disuplai oleh Penyulang Blahkiuh yang bersumber dari Trafo-IV 10 MVA Gardu Induk Kapal. Penyulang ini berbentuk konfigurasi jaringan distribusi 20 kV tipe radial dengan 172 bus. Rugi-rugi Penyulang Blahkiuh sebesar 0,150 MW. Untuk mengurangi rugi-rugi daya pada penyulang Blahkiuh maka dilakukan pemasangan kapasitor. Dalam paper ini dilakukan pemasangan 1 kapasitor sebesar 600 kVAR di Penyulang Blahkiuh. Dalam menentukan lokasi pemasangan kapasitor digunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* diperoleh bahwa lokasi optimal dalam pemasangan kapasitor terdapat pada Bus 28. Pemasangan kapasitor pada Bus terjadi penurunan rugi-rugi daya pada Penyulang Blahkiuh dari 0,150 MW menjadi 0,087 MW. Tegangan terendah pada bus 0,9430 p.u.

Kata Kunci: Rugi-Rugi Daya, Kapasitor, *Load Flow Analysis*, *Particle Swarm Optimization*

1. PENDAHULUAN

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis optimasi penempatan kapasitor, salah satunya dengan judul "optimasi penempatan kapasitor bank untuk perbaikan rugi daya pada penyulang saba menggunakan algoritma genetika", diperoleh metode gabungan lebih cocok digunakan untuk perbaikan rugi daya pada penyulang Saba karena menghasilkan total rugi daya sebesar 143 kW (3,8%) dengan penempatan kapasitor bank pada bus 27 [1]. Penelitian lain dengan judul "optimasi pemasangan kapasitor pada sistem jaringan listrik distribusi di Penyulang Penyabangan, Singaraja Bali dengan menggunakan metode *Quantum Genetic Algorithm*" memperoleh lokasi pemasangan kapasitor pada bus 31 dan rugi rugi daya menurun dari 0,0674 MW menjadi 0,0543 MW [2]. Penelitian mengenai optimasi penempatan kapasitor dan *partice swarm optimization* lainnya sebagai referensi adalah Penelitian dengan judul "optimasi penempatan distributed generation pada penyulang goa lawah menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*" didapatkan rugi-rugi daya pada Penyulang Goa Lawah

menurun menjadi 31 kW dengan rugi-rugi awal dari Penyulang Goa Lawah sebesar 72 kW. Terjadi penurunan rugi-rugi daya sebesar 41 kW [3]. Penelitian lainnya dengan metode Genetic Algorithm dengan judul "*Optimal Patch Routes through Multi-Criteria Weights in Ad Hoc Network Using Genetic Algorithm*"[4]. Penelitian lainnya juga dilakukan dengan judul "*Muti-Criteria Weight on Ad Hoc Network Using Particle Swarm Optimization For Optimal Patch Pairs* [5]

Dalam paper ini metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* digunakan untuk menentukan penempatan kapasitor yang akan dipasang, sehingga tegangan tiap bus pada penyulang Blahkiuh mengalami kenaikan tegangan dan meminimalkan rugi-rugi daya pada Penyulang Blahkiuh . yang dialirkan oleh sistem jaringan distribusi memiliki 3 komponen yaitu daya aktif, daya reaktif dan daya semu. Faktor daya merupakan daya aktif dibagi daya semu. Dimana menurut standar PUIL 2000 ukuran rata – rata batas faktor daya itu sebesar $0,85 \leq PF \leq 1$ dan

batas tegangan rata – rata $\pm 5\%$. Rendahnya faktor daya menyebabkan kerugian pada pelanggan.

Penyaluran daya listrik di kawasan Badung Tengah dan Badung Utara disuplai oleh Penyulang Blahkiuh yang bersumber dari Trafo-IV 10 MVA Gardu Induk Kapal. Penyulang ini berbentuk konfigurasi jaringan distribusi 20 kV tipe radial dengan 142 buah transformator distribusi. Pada Analisa awal yang dilakukan dengan simulasi Load Flow Analysis diperoleh bahwa penyulang Blahkiuh mempunyai rugi-rugi daya 0,150 MW. Untuk itu perlu dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang Blahkiuh, untuk menentukan dimana lokasi pemasangan kapasitor perlu dilakukan optimasi untuk meminimalkan rugi-rugi daya.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 SALURAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Saluran distribusi tenaga listrik adalah saluran yang dimiliki oleh PLN yang berguna untuk menyalurkan energi listrik ke pelanggan. Sistem distribusi tenaga listrik meliputi semua tegangan menengah 20 KV dan jaringan tegangan rendah 220/380 V hingga sampai ke konsumen. Distribusi tenaga listrik menyalurkan energi listrik ke konsumen dengan penghantar saluran udara maupun penghantar saluran bawah tanah dari mulai gardu induk hingga pusat beban [8]. Sebagai saluran utama distribusi tenaga listrik, sebuah saluran distribusi dituntut untuk mempunyai rugi-rugi daya yang minim, sehingga pelanggan atau konsumen dapat memanfaatkan energi listrik sesuai standar mutu dari penyedia layanan listrik atau PLN.

2.2 RUGI DAYA

Rugi daya merupakan hilangnya besaran daya yang dikirim dari saluran distribusi utama, sehingga daya yang diterima konsumen atau disisi penerima berbeda, rugi-rugi daya dapat disebabkan oleh jenis penghantar, Panjang penghantar dari jaringan distribusi tenaga listrik, semakin kecil rugi-rugi daya pada saluran dsitribusi tenaga listrik merupakan acuan bahwa saluran tersebut efisien dan bagus. Sehingga konsumen dapat menikmati daya listrik sesuai standar PLN

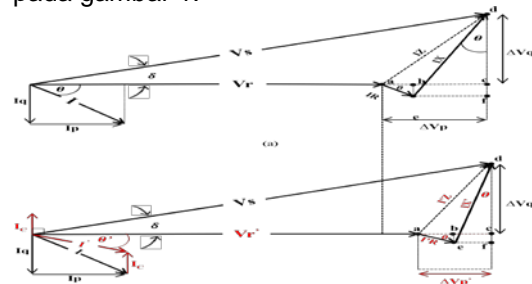
2.3 KLASIFIKASI BUS

Besaran nilai daya dan rugi-rugi pada penyulang Blahkiuh dapat diketahui dengan menghitung besaran tegangan tiap bus pada penyulang Blahkiuh, sudut fasa penyulang Blahkiuh. Setelah diketahui besaran tegangan, sudut fasa pada setiap bus penyulang Blahkiuh, maka rugi-rugi daya pada Penyulang Blahkiuh dapat diketahui.

2.4 KAPASITOR

Kapasitor adalah adalah sebuah peralatan yang dapat menginjeksikan daya reaktif, sehingga dapat memperbaiki faktor daya dari sebuah sistem distribusi tenaga listrik.

Kapasitor shunt atau disebut dengan kapasitor paralel dapat meinjeksikan daya reaktif pada saluran distribusi sehingga dapat memperbaiki faktor daya jika dibawah 0,85 menjadi mendekati 1. Seperti pada gambar 1.



Gambar 1 (a); Saluran Tanpa Kapasitor Shunt (b); Saluran Dengan Kapasitor Shunt

2.6 OPTIMASI

Optimasi adalah suatu proses untuk mencapai hasil yang ideal. Pengoptimasian penempatan kapasitor pada penyulang Blahkiuh bertujuan untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada penyulang Blahkiuh. Dimana rugi-rugi daya yang dihasilkan penyulang Blahkiuh dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = I^2 \cdot R \dots\dots\dots(1)$$

$$P = I^2 \cdot R \cdot l \dots\dots\dots(2)$$

Atau rumus rugi-rugi daya dapat ditulis sebagai berikut :

$$P = \sum_{i=1}^n I_{ai}^2 R_i + \sum_{i=1}^n I_{ri}^2 R_i \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya} \\ I_{ai}$$

$$I_{ri} = \frac{R}{l}$$

= Tahanan
 l = Panjang Kabel

Particle Swarm Optimazation (PSO) adalah Algoritma yang digunakan untuk menentukan lokasi yang tepat pemasangan kapasitor. Konsep utamanya adalah bahwa potensi solusi yang diterbangkan melalui hyperspace dan dipercepat menuju solusi yang lebih baik atau lebih optimal [6]. Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut

1. *Swarm* : populasi algoritma
2. *Particle* : anggota pada suatu swarm, setiap *particle* menggambarkan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Letak dari suatu *particle* ditentukan dengan cara menemukan solusi saat itu.
3. *Pbest (Personal Best)* : Posisi suatu partikel terbaik.
4. *Gbest (Global Best)* : posisi terbaik *particle* pada swarm atau posisi terbaik diantara
5. *Pbest* yang ada.
6. *Velocity* (kecepatan) : kecepatan yang menggerakkan proses optimisasi dan menentukan arah dimana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah pindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula.
7. *Inertia Weight (θ)* : parameter yang dipakai untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* (kecepatan) yang diberikan oleh suatu *particle* [8].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 ALUR ANALISIS

Alur analisis dalam paper ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data Penyulang Blahkiuh untuk simulasi
2. Membuat mode single line diagram pada simulasi aliran daya pada Penyulang Blahkiuh
3. Memasukan data beban Penyulang Blahkiuh, jenis penghantar Penyulang Blahkiuh.
4. Simulasi aliran daya Penyulang Blahkiuh.
5. Membuat simulasi optimasi penempatan kapasitor pada penyulang Blahkiuh.
6. Simulasi pemasangan 6 jenis kapasitor dengan kapasitas 100

KVAR,125 KVAR, 150 KVAR, 200 KVAR, 300 KVAR dan 600 KVAR pada Penyulang Blahkiuh

7. Hasil simulasi pemasangan kapasitor dan aliran daya pada Penyulang Blahkiuh.

4. HASIL DAN PEMBAHAHASAN

4.1 PENYULANG BLAHKIUH

Penyulang Blahkiuh adalah salah satu penyulang yang bersumber dari Gardu Induk Kapal dan memiliki fungsi untuk menyalurkan suplai tenaga listrik menuju konsumen di kabupaten Badung. Dalam proses penyaluran tenaga listrik jaringan distribusi 20 kV Penyulang Blahkiuh menggunakan tiga jenis saluran utama yaitu : saluran udara tegangan menengah (SUTM), saluran kabel udara tegangan menengah (SKUTM) dan saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Jenis penghantar yang digunakan berbeda-beda sesuai dengan jenis saluran seperti : AAAC untuk SUTM, MVTIC untuk SKUTM dan NA2XSEBY untuk SKTM dan nilai resistansi dan reaktansinya pun berbeda beda seperti pada tabel 1 [9].

Tabel 1. nilai dari resistansi dan reaktansi dari data-data penghantar pada Penyulang Blahkiuh

No.	Jenis Penghantar	Z1 / km		Z0 / km	
		R	jX	R	jX
1	Kabel Tanah (NFA2XSEYT) 150 mm ²	0,206	0,104	0,356	0,312
2	MV-TIC 150 mm ²	0,216	0,330	0,363	1,618
3	AAAC 150 mm ²	0,216	0,330	0,363	1,618
4	AAAC 95 mm ²	0,309	0,345	0,487	1,632
5	AAACS 150 mm ²	0,216	0,330	0,363	1,618

Penyulang Blahkiuh memiliki Panjang jaringan 97.873 m dan memiliki 172 bus. Sistem topologi jaringan yang digunakan adalah tipe radial. Setiap ujung jaringan Penyulang Blahkiuh terinterkoneksi dengan penyulang lain, bagian utara penyulang Blahkiuh terhubung dengan Penyulang Buahian, bagian barat Penyulang Blahkiuh terhubung dengan Penyulang Taman Tanda dan Penyulang Panglan, dan dibagian timur terhubung dengan Penyulang Kedewataan. Dalam sistem interkoneksi ini masing-masing penyulang dipisahkan oleh LBS yang dalam pengoperasiannya dalam kondisi *normally open*.

4.2 ANALISIS RUGI-RUGI DAYA PENYULANG BLAHKIUH

Untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya yang dihasilkan jaringan distribusi Penyulang Blahkiuh sebelum adanya pemasangan kapasitor, maka dilakukan analisis aliran daya menggunakan software pendukung. *Load Flow* analisis ini dilakukan dengan metode *Newton Raphson*. Analisis aliran daya menggunakan inputan single line, data Panjang saluran, data beban yang terdapat pada Penyulang Blahkiuh. Dan pada tabel 2 merupakan hasil load flow dari penyulang Blahkiuh

Tabel 2. Data Hasil Analisa Aliran Daya Penyulang Blahkiuh Sebelum Pemasangan Kapasitor

No	Uraian	Nilai	Keterangan
1	Total Daya	3,609 MW	Penyulang Blahkiuh
2	Rugi Daya	0,150 MW	Sebelum pemasangan Kapasitor

Berdasarkan hasil perhitungan aliran daya, maka besar rugi daya pada penyulang Blahkiuh sebelum terpasang kapasitor adalah 150 KW, pada coding, inputan yang dimasukkan harus berupa nomor bus, volt(mag), angle (deg), load dan generator yang didapat dari inputan single line diagram, Nilai X dan R yang diinputkan ke dalam coding harus dalam satuan (p.u) yang akan diperoleh menggunakan rumus berikut :

1. Perhitungan untuk arus dasar *Base Current*

$$(I) = \frac{MVA_{base}}{\sqrt{3} \times KV_{base}} \dots\dots\dots (4)$$

$$= \frac{1.000.000.000}{\sqrt{3} \times 20000} = 28,86 \text{ A}$$

2. Perhitungan untuk impedansi dasar *Base Impedance*

$$(Z) = \frac{V^2_{BaseLL}}{S_{base 3\phi}} \dots\dots\dots (5)$$

$$= \frac{(20)^2}{1000} = 0,4 \ \Omega$$

Keterangan :
 Daya Dasar (MVA_{base}) = 1000 MVA
 Tegangan Dasar (KV_{base}) = 20 KV

Maka nilai X dan R dalam satuan p.u adalah

$$X_{pu} = \frac{X}{Base \ Impedance} \dots\dots\dots (6)$$

$$R_{pu} = \frac{R}{Base \ Impedance} \dots\dots\dots (7)$$

Sehingga nilai X an R dapat dihitung sebagai berikut

Mengwi 1 – Mengwi 2

$$(X \ p.u) = \frac{0,08325}{0,4} = 0,20814 \ p.u$$

$$(R \ p.u) = \frac{0,00640}{0,4} = 0,01601 \ p.u$$

Selanjutnya akan dihitung menggunakan rumus yang sama sehingga didapatkan hasil sebagai tabel 3 berikut :

Tabel 3. Data inputan X dan R dalam satuan p.u

From Bus	To Bus	R (p.u)	X (p.u)
Mengwi 1	Mengwi 2	0,01601	0,20814
Mengwi 2	Mengwi 3	0,02520	0,01060
Mengwi 3	Mengwi 4	0,00317	0,00449
Mengwi 4	Mengwi 5	0,01854	0,02628
Mengwi 5	Mengwi 6	0,00125	0,00177

4.4. HASIL PEMASANGAN KAPASITOR

Sistem Penyulang Blahkiuh terdiri dari 1 pembangkit dan 172 bus. Dalam paper ini, diperlukan data –data seperti penomoran bus, data beban dan pembangkit, serta data parameter saluran.. Setelah memperoleh data penomoran bus, data beban dan pembangkit, serta data parameter saluran yang dipergunakan sebagai inputan data yang digunakan pada coding *Particle Swarm Optimization (PSO)* yang ditampilkan pada tabel 3.

Tabel 3. Data Bus Penyulang Blahkiuh

Bus No.	Volt. mag	Angle. deg	LOAD		Swing Bus	
			MW	MVAR	MW	MVAR
1	1	0	0	0	3609	2425
2	0,978	-1,7	0	0	0	0
3	0,978	-1,7	0	0	0	0
4	0,977	-1,7	0,074	0,046	0	0
5	0,972	-1,9	0,069	0,043	0	0
6	0,972	-1,9	0	0	0	0
7	0,969	-1,9	0	0	0	0
8	0,966	-2	0,015	0,009	0	0
9	0,963	-2,1	0	0	0	0
10	0,963	-2,1	0,027	0,017	0	0
....
172	0,943	-2,6	0	0	0	0

Dalam paper ini dipergunakan MVA Base sebesar 1000 MVA sebagai nilai base pada sistem Penyulang Blahkiuh. Setelah data dalam tabel diatas diperoleh, data tersebut diinputkan kedalam bentuk coding. Setelah dilakukan inputan coding untuk mencari nilai rugi-rugi daya pada keseluruhan bus dengan menggunakan metode Newton-Raphson, maka selanjutnya akan dilakukan pencarian titik terbaik berdasarkan iterasi yang telah ditentukan. Dimana, pada ini, iterasi yang ditentukan sebanyak 10 iterasi, setelah dipasang 1 kapasitor dengan kapasitas 600 kVAR, kemudian dilakukan proses optimasi dengan menggunakan metode Particle Swarm Optimization (PSO), maka diperoleh hasil lokasi untuk pemasangan kapasitor pada Penyulang Blahkiuh terdapat pada bus 28. Dengan dipasangnya kapasitor maka tegangan terendah pada bus menjadi naik dari 0,8487 pu menjadi 0.9430 pu, dan rugi-rugi daya aktif menjadi 0,087 MW. Untuk mengetahui lokasi terbaik dalam pemasangan kapasitor sehingga diperoleh rugi-rugi daya yang minimum, maka dilakukan 6 percobaan dengan kapasitas kapasitor yang berbeda-beda,

berikut adalah hasil perbandingan pemasangan kapasitor di penyulang Blahkiuh pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pemasangan Kapasitor

No	Jumlah	Besaran Kapasitor (kVAR)	Lokasi	Rugi-Rugi Daya (MW)	Tegangan Minimum (pu)
1	1	600	Bus 28	0,087	0,9430
2	2	300	Bus 35, Bus 104	0,205	0,9430
3	3	200	Bus 59, Bus 35, Bus 91	0,172	0,9430
4	4	150	Bus 34, Bus 101, Bus 39, Bus 41	0,133	0,9430
5	5	120	Bus 104, Bus 41, Bus 32, Bus 43, Bus 31	0,129	0,9430
6	6	100	Bus 35, Bus 99, Bus 53, Bus 98, Bus 45, Bus 34	0,154	0,9430

Berdasarkan tabel 4 dapat diketahui bahwa dengan pemasangan 1 buah kapasitor dengan kapasitas 600 kVAR pada bus 28 rugi-rugi daya pada penyulang Blahkiuh menjadi 0,087 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu. Rugi-rugi daya penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 2 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 300 kVAR adalah 0,205 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 3 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 200 kVAR sebesar 0,172 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada Bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 4 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 150 kVAR sebesar 0,133 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 5 kapasitor dengan kapasitas 120 kVAR sebesar 0,129 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada Bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 6 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 100 kVAR sebesar 0,154 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu.

Berdasarkan tabel 4. diketahui bahwa dengan pemasangan 1 kapasitor dengan kapasitas 600 kVAR pada Bus 28 di Penyulang Blahkiuh diperoleh rugi-rugi daya yang paling minim. Secara keseluruhan sistem Penyulang Blahkiuh menjadi lebih baik, hal ini dapat terlihat dari tegangan terendah meningkat dari 0.8487 pu menjadi 0.9430 pu yang berarti bahwa ketentuan drop tegangan maksimum sebesar 5% (PUIL 2000) sudah terpenuhi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan 1 buah kapasitor dengan kapasitas 600 KVAR pada bus 28, rugi-rugi daya pada penyulang Blahkiuh menjadi 0,087 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu. Rugi-rugi daya penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 2 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 300 kVAR adalah 0,205 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 3 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 200 kVAR sebesar 0,172 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada Bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 4 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 150 KVAR sebesar 0,133 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 5 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 120 kVAR sebesar 0,129 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu pada Bus 172. Rugi-rugi daya Penyulang Blahkiuh pada saat dipasang 6 kapasitor dengan kapasitas masing-masing 100 kVAR sebesar 0,154 MW dengan tegangan minimum 0,9430 pu.
2. Lokasi terbaik pemasangan kapasitor pada Penyulang Blahkiuh setelah dilakukan optimasi menggunakan program *Particle Swarm Optimization* terdapat pada Bus 28 dengan kapasitas 600 kVAR, tegangan pada tiap-tiap Bus juga mengalami kenaikan dengan tegangan paling rendah 0,9430 pu sehingga dapat menurunkan rugi-rugi daya dari 0.150 MW menjadi 0.87 MW.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wijaya.I.K.A. 2019. *Optimasi Penempatan Kapasitor Bank Untuk Perbaikan Rugi Daya Pada Penyulang Saba Menggunakan Algoritma Genetika*. Jurnal Spektrum. 2019,Vol 6 No2, 7-15
- [2] Maria Gusti Agung Ayu Permata, *Optimasi Pemasangan Kapasitor Pada Sistem Jaringan Distribusi di Bali Menggunakan Metode Quantum Genetic Algorithm*, Jurnal Spektrum, 2019, Vol 6 No 1, 96-104
- [3] Bagus Sastrawan I Made, *Optimasi Penempatan Distributed Generation Pada Penyulang Goa Lawah Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (Pso)*, Jurnal Spektrum, 2018, Vol 5 No.2, 74-80.
- [4] Gunantara, N. and Dharma,A , *Optimal Patch Routes through Multi-Criteria Weights in Ad Hoc Network Using Genetic Algorithm*, International Journal of Commuication Network and Information Security (IJCNIS), 2017, Vol 9 No.1
- [5] Gunantara,N.,Sudiarta, P.K and Antara,I.N.G. *Muti-Criteria Weight on Ad Hoc Network Using Particle Swarm Optimization For Optimal Patch Pairs*. International Review of Electrical Engineering (IREE) 2018, Vol. 13.No.1.
- [6] Rosalind Fawnia Margeritha, *Analisis Penyambungan Distributed Generation Guna Meminimalkan rugi-rugi Daya Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)*, Jurnal Teknik Elektro, 2017, Vol.16 No 03, 122-127
- [7] Alrijadjis, Astowulan K. 2010. *Optimasi Kontroler PID Berbasis Particle Swarm Optimazation (PSO) Untuk Sistem Waktu Tunda*.Surabaya: Jurnal. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [8] Ervina, Mira. 2012. *Optimasi Penempatan dan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Sistem Distribusi Untuk Mereduksi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization*. Semarang: Jurnal. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- [9] IMA Subawa, *Rekonfigurasi Saluran Distribusi 20 KV pada Penyulang Menjangan Untuk Mengatasi Jatuh Tegangan*. Jurnal Spektrum, 2019, Vol.6 No 03, 102