

Optimasi Nilai *Static Var Compensator* (SVC) Untuk Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Sistem Distribusi 20 KV Menggunakan Metode *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Septyan Krisna Nugraha

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Hang Tuah Surabaya
Kota Surabaya, Indonesia
septyankrisnan21@gmail.com

Istiyo Winarno

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Hang Tuah Surabaya
Kota Surabaya, Indonesia
istiyo.winarno@hangtuah.ac.id

Daeng Rahmatullah

Program Studi Teknik Elektro
Universitas Hang Tuah Surabaya
Kota Surabaya, Indonesia
daengrahmatullah@gmail.com

Abstrak— Listrik adalah salah satu sumber tenaga yang paling utama dibutuhkan oleh masyarakat. Bersamaan dengan perkembangan zaman, kebutuhan akan tenaga listrik yang terus berkembang setiap tahunnya menyebabkan sistem distribusi dipaksa untuk beroperasi pada batasnya kemampuannya. Sehingga menimbulkan turunya kualitas tegangan. Penyebab menurunnya kualitas tegangan salah satunya adalah adanya jatuh tegangan. Jatuh Tegangan dari sistem tenaga listrik dapat diatasi dengan menggunakan peralatan *Flexible AC Transmission System* (FACTS). Perangkat FACTS yang digunakan adalah *Static Var Compensator* (SVC). FACTS adalah teknologi modern yang dapat meningkatkan stabilitas sistem tenaga, meningkatkan profil tegangan dan dapat meningkatkan transfer daya nyata, dengan mengontrol parameter yang berbeda seperti impedansi, tegangan, dan sudut sistem tenaga, namun terdapat alokasi dan ukuran yang optimal dalam daya. *Static VAR Compensator* (SVC) yang dipasang secara paralel pada bus-bus saluran distribusi digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif pada saluran distribusi. Untuk dapat memberikan kompensasi yang tepat, diperlukan suatu metode untuk menentukan nilai kapasitansi dari SVC. Pada penelitian ini dibahas mengenai studi optimasi nilai SVC untuk perbaikan jatuh tegangan menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Hasil dari pemasangan SVC dengan metode PSO yaitu tegangan di bus 4 yang awalnya 94,48% menjadi 98,35. Bus 14 yang awalnya 94,4% menjadi 99,12% dan bus 15 yang awalnya 94,32% menjadi 99,21%.

Kata kunci— *Sistem Distribusi; Jatuh Tegangan; Static Var Compensator* (SVC); *Particle Swarm Optimization* (PSO).

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia saat sekarang ini. Dalam melakukan aktivitas sehari-hari masyarakat tidak lepas dari penggunaan energi listrik, terutama pada masyarakat perkotaan. Dalam melanjutkan kelangsungan hidupnya manusia memanfaatkan energi listrik di berbagai sektor yaitu, dari sektor rumah tangga, sektor industri, sektor transportasi maupun dari sektor komersial. Semakin meningkat perekonomian suatu daerah maka konsumsi energi listrik pun semakin meningkat. Sehingga untuk penyaluran energi listrik yang semaksimal mungkin perlu diperhatikan pada sistem distribusinya karena pada saluran distribusi dengan jangkauan yang jauh.

Jatuh Tegangan atau drop voltage ialah suatu kondisi dimana jumlah tegangan yang disalurkan tidak sama dengan tegangan yang diterima persis penerimanya (beban listrik). Kondisi tersebut dapat membuat kualitas tegangan menjadi buruk dan mengakibatkan meningkatnya arus listrik [1]. Beberapa faktor yang mengakibatkan terjadi jatuh tegangan ataupun tegangan lebih antara lain faktor daya, pembebanan dan nilai impedansi sistem. Sistem tenaga listrik dikatakan baik apabila nilai tegangan sudah termasuk dalam ketentuan yang ada, untuk ketentuan nilai tegangan yang diperbolehkan yaitu 5 % dari nilai tegangan nominalnya. Dengan melakukan kompensasi daya reaktif pada sistem sesuai dengan kebutuhan akan dapat memperbaiki jatuh tegangan maupun tegangan lebih. Terjadinya jatuh tegangan dikarenakan sistem terlalu banyak mengandung daya reaktif atau dapat dikatakan nilai faktor daya belum bagus. Maka diperlukan sebuah kompensasi daya reaktif agar dapat memperbaiki faktor daya atau mengurangi daya reaktif pada sistem.

Seiring dengan perkembangan kemajuan komponen elektronika daya dan kontrol pada sistem tenaga listrik dalam meningkatkan kapasitas saluran distribusi dan kualitas sistem tenaga listrik, sehingga komponen pada sistem tenaga listrik mampu mengontrol dan mengkompensasi tegangan jatuh pada saluran distribusi. Salah satu cara menurunkan *losses*, meningkatkan kapasitas saluran dan meningkatkan kualitas sistem tegangan dengan memasang peralatan *Flexible AC Transmission System* (FACTS). Peralatan SVC salah satunya adalah *Static Var Compensator* (SVC). *Static var compensator* (SVC) merupakan generator/beban VAR statis yang terhubung secara paralel dimana keluarannya bervariasi untuk pertukaran arus induktif atau kapasitif dengan tujuan untuk menjaga/mengontrol parameter. Prinsip kerja SVC yaitu dengan menginjeksikan daya reaktif pada sistem sesuai sudut penyaluran thyristor [2]. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali yang kemudian akan mengatur sudut penyaluran thyristor. Dengan demikian static var compensator akan memberikan kompensasi daya reaktif sesuai dengan kebutuhan sistem. Tujuan utama pemasangan SVC adalah untuk menjaga perubahan tegangan pada bus dalam jaringan serta untuk

minimisasi dengan cara menyuntikkan daya reaktif dengan mengendalikan arus kapasitif atau arus induktif. Untuk menentukan nilai SVC yang tepat, maka digunakan metode optimasi dengan menggunakan fungsi obyektif berdasarkan parameter rugi-rugi daya (Ploss), rugi-rugi tegangan (Vloss) dan kapasitas SVC [3]. Pada penelitian ini penulis akan memasang sebuah peralatan FACTS yaitu SVC (*Static var Compensator*) sebagai perbaikan tegangan dan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk mencari nilai yang optimal daripada nilai SVC.

II. METODOLOGI

A. Sistem Distribusi

Secara umum, saluran distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan menurut nilai tegangan, jenis konstruksi dan susunan rangkaian. Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik, yaitu dimulai dari sumber daya atau pembangkit tenaga listrik sampai kepada para konsumen. Pada masa sekarang ini dimana kebutuhan akan tenaga listrik meningkat, maka diperlukan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik dari pembangkit sampai kepada para konsumen yang memiliki keandalan yang tinggi. Tenaga listrik yang didistribusikan tersebut tidak hanya tegangan menengah dan rendah saja, namun juga tegangan tinggi dan ekstra tinggi. Namun yang umum disebut sistem distribusi adalah sistem tegangan menengah (primer) dan tegangan rendah (sekunder).

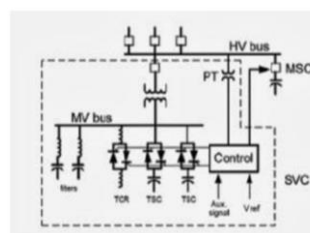
B. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Aliran daya dapat mengetahui tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam sistem, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan. [4]

C. Static Var Compensator (SVC)

Static VAR Compensator (SVC) adalah perangkat elektronika daya yang disusun secara paralel untuk mengatur aliran daya dan meningkatkan stabilitas transien dari sistem jaringan. Perangkat SVC mengatur tegangan pada masing-masing terminal dengan mengatur jumlah daya reaktif yang diinjeksikan atau diserap dari sistem daya. Saat tegangan sistem rendah, SVC membangkitkan daya reaktif (SVC Kapasitif). Saat tegangan sistem tinggi, SVC menyerap daya reaktif (SVC Induktif). Pengaturan daya reaktif ini dilakukan dengan switching bank kapasitor dan bank induktor 3 fasa yang terhubung pada sisi sekunder transformator. Kondisi *on* dan *off* kapasitor bank diatur oleh *thyristor switch* (*Thyristor Switched Capacitor or TSC*). Kondisi *on* dan *off* reaktor diatur oleh

Thyristor Switch Reactor (TSR) atau Thyristor Controlled Reactor (TCR). SVC merupakan salah satu jenis perangkat FACTS (*Flexible AC Transmission Systems*), yaitu perangkat elektronika daya untuk penyaluran sistem arus AC yang dapat digunakan secara fleksibel untuk meningkatkan kualitas penyaluran sistem aliran daya. Perangkat ini bekerja dengan mengkompensasi daya reaktif terhadap jaringan. *Static VAR Compensator (SVC)* menyediakan kompensasi *fast-acting reactive power* pada jaringan transmisi listrik tegangan tinggi. SVC merupakan bagian dari sistem peralatan AC transmisi yang fleksibel, pengatur tegangan dan penstabil sistem. Istilah "*static*" berdasarkan pada kenyataannya bahwa pada saat beroperasi atau melakukan perubahan kompensasi tidak ada bagian (*part*) SVC yang bergerak, karena proses kompensasi sepenuhnya dikontrol oleh sistem elektronika daya. Kebutuhan daya reaktif pada sistem dapat dipasok oleh unit pembangkit, sistem transmisi, reaktor dan kapasitor. Karena kebutuhan daya reaktif pada sistem transmisi bervariasi yang disebabkan oleh perubahan beban, komposisi unit pembangkit yang beroperasi, perubahan konfigurasi jaringan, hal ini berdampak pada bervariasinya level tegangan yang paling besar, oleh sebab itu diperlukan sistem kompensasi daya reaktif yang dapat mengikuti perubahan tegangan.



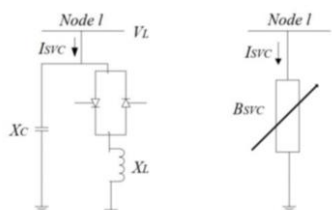
Gambar 1. Sistem Static Var Compensator

Peralatan SVC digunakan untuk mengkompensasi daya reaktif. Prinsip kerja SVC yaitu dengan cara mengatur sudut penyalan thyristor, sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC. Nilai tegangan sistem merupakan input bagi pengendali, yang kemudian akan mengatur sudut penyalan thyristor. Dengan demikian SVC akan memberikan kompensasi daya reaktif yang sesuai dengan kebutuhan sistem (Alkindi., 2017). menunjukkan sistem SVC.

Secara umum ada dua konfigurasi SVC (Karami dkk, 2011), yaitu:

a). Model firing angle SVC Pemodelan SVC berupa reaktansi ekuivalen XSVC, yang merupakan dari perubahan sudut penyalan α , yang terdiri dari kombinasi paralel admitansi ekuivalen *thyristor controlled reactor* (TCR) dan reaktansi kapasitif tetap, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Model ini memberikan informasi mengenai sudut penyalan SVC yang diperlukan untuk mencapai tingkat kompensasi tertentu.

b). Model *total susceptance* SVC SVC dilihat sebagai sebuah reaktansi yang dapat diatur melalui perubahan susceptansi BSVC, yang melambangkan nilai susceptansi SVC total yang diperlukan untuk mempertahankan besar tegangan bus pada nilai tertentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi SVC. [5]

D. Kompensasi Daya Reaktif

Dalam menentukan besarnya Suseptansi SVC, Bsvc yang akan ditempatkan pada bus beban, dapat menggunakan persamaan aliran daya. Arus yang mengalir pada SVC adalah :

$$I_{svc} = jB_{svc} \cdot V_{bus} \tag{1}$$

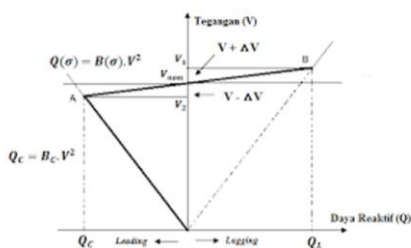
Sedangkan besarnya suseptansi SVC, Bsvc dapat diaktifkan sebagai fungsi sudut konduksi thyristor (σ) berikut ini :

$$B_{svc} = B_c - BL(\alpha) \tag{2}$$

Berdasarkan persamaan diatas , maka dapat dihitung daya reaktif yang diinjeksikan ke bus oleh SVC dengan persamaan dibawah ini sebagai berikut :

$$Q_{svc} = -B_{svc} \cdot V^2_{bus} \tag{3}$$

Kurva daya reaktif yang dihasilkan SVC terhadap tegangan bus yang dipasang SVC ditunjukkan pada Gambar berikut ini :



Gambar 3. Kurva Daya Reaktif Terhadap Tegangan pada SVC. (Sumber : Alkindi, 2017).

Keterangan :

- Qc : Daya Reaktif Capacitif (VAR)
- Ql : Daya Reaktif Induktif (VAR)
- V : Tegangan (V)
- V1 : Tegangan Mula-mula (V)
- V2 : Tegangan Akhir (V)
- ΔV : Perubahan Tegangan (V)
- B : Suseptansi (Siemens)

Terdapat 3 area kerja SVC :

1. Area kerja pertama terdapat di antara V1 dan V2. Di area ini, SVC bersifat kapasitif atau induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem.
2. Area kerja kedua, bila tegangan bus melebihi V1. Di area ini SVC memiliki karakteristik induktif. Daya reaktif yang dihasilkan berubah-ubah sesuai kebutuhan sistem seperti diberikan pada persamaan.
3. Area kerja ketiga bila tegangan kurang dari V2. Di area ini SVC hanya berfungsi sebagai *fixed capacitor* saja.

E. Particle Swarm Optimization (PSO)

Menurut Hu, 2005. *Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah sebuah teknik *stochastic optimization* berdasarkan populasi (ikan, lebah, burung dll), dikemukakan oleh Russell C. Eberhart dan James Kennedy di tahun 1995 yang terinspirasi oleh perilaku sosial dari pergerakan burung atau ikan.

PSO bersimulasi dengan perilaku dari sekawanan burung seperti scenario berikut: ada sekelompok burung yang secara acak mencari makanan di suatu daerah, dimana hanya ada satu potong makanan di daerah yang dicari. Semua burung tidak tahu seberapa jauh keberadaan makanan tersebut. Maka strategi yang paling baik untuk menemukan makanan adalah mengikuti burung yang berada paling dekat dengan makanan. PSO mengadopsi skenario tersebut dan menerapkannya untuk memecahkan masalah optimasi. Berikut merupakan tahap dari PSO.

1. Proses Inisialisasi

Inisialisasi sekumpulan *particle* secara random dimana setiap *particle* merepresentasikan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi. Pada tahap ini biasanya beberapa parameter *particle* memiliki batasan-batasan pada masing - masing kasus yang akan dioptimasi. Hal ini dilakukan untuk mencegah nilai random inisialisasi yang terlalu jauh. Parameter yang sangat penting diinisialisasi pada algoritma PSO adalah posisi dari setiap *particle* (X_i), kecepatan dari setiap *particle* (V_i), dan posisi terbaik dari setiap *particle* (P_i). Ketiga parameter ini dapat berupa lebih dari satu parameter yang akan dioptimasi atau biasa disebut dengan *multi objective*. Kemudian parameter lainnya yang harus diinisialisasi adalah nilai - nilai konstanta, seperti c_1 , c_2 , c_3 , r_1 , dan r_2 . Keempat konstanta tersebut dapat diperbaharui setiap iterasi nantinya atau hanya ditentukan sebuah angka (0 sampai 1).

2. Proses Iterasi dan Pembaruan Sistem

Pada proses ini parameter-parameter penting yang sudah diinisiasi pada tahap sebelumnya masuk ke dalam tahap pembaruan nilai-nilai parameter untuk mendapatkan nilai yang terbaik. Adapun formula untuk menghitung nilai-nilai parameter yang akan diperbaharui pada tahap iterasi adalah sebagai berikut :

$$V_{k+1} = w_k V_k + c_1 r_1 (P_{best} - x_k) + c_2 r_2 (x_k - P_{notbest}) + c_2 r_3 (G_{best} - x_k) \tag{4}$$

Dimana :

- wk = inertia weight
- c1 = factor learning untuk particle
- c2 = factor learning untuk swarm
- r1 = random nilai 1 (0 sampai 1)
- r2 = random nilai 2 (0 sampai 1)
- r3 = random nilai 3 (0 sampai 1)
- vk = kecepatan setiap particle
- x^k = posisi setiap particle
- vk+1 = kecepatan baru setiap baru setiap particle

Pbest = posisi terbaik dari particle
 Pnotbest = posisi bukan terbaik dari particle
 Gbest = posisi terbaik dari populasi

Nilai dari wk disesuaikan dengan permasalahan optimasi yang diinginkan. Hal ini dikarenakan nilai dari formula untuk mencari nilai wk adalah beragam. Pemilihan nilai wk yang tepat akan mempercepat proses optimasi pada permasalahan yang diambil karena peran dari wk adalah pengontrol keseimbangan antara eksplorasi *global* dan *local*. Dalam algoritma PSO terdapat *update* pembatas kecepatan. Hal ini merupakan salah satu pembaharuan dari algoritma PSO. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses konvergensi. Formula untuk membatasi kecepatan pada algoritma PSO adalah sebagai berikut :

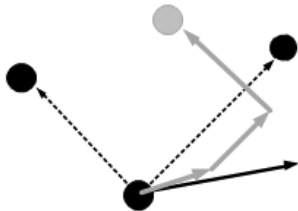
$$v_{(i,f)} = R \times (X_{max} - X_{min}) \tag{5}$$

$$R = R_{initial} + (R_{final} - R_{initial}) \times \left(\frac{iter}{iter_{max}}\right) \tag{6}$$

Dimana :

$$R_{initial} > R_{final} \tag{7}$$

Setiap nilai dari posisi setiap *particle* (X_i) dimana X_i ditentukan nilai fluktuasinya sesuai dengan permasalahan optimasinya akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai oleh *local best* (P_i). Jika nilai dari fluktuasi $X_i < P_{best}$ maka P_{best} diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i . Selain itu, setiap nilai fluktuasi dari *particle* akan dibandingkan dengan nilai yang tercapai dalam populasi G_{best} . Perubahan nilai posisi *particle* terhadap posisi terbaik *particle* dan posisi terbaik populasi dapat diilustrasikan pada Gambar 4.

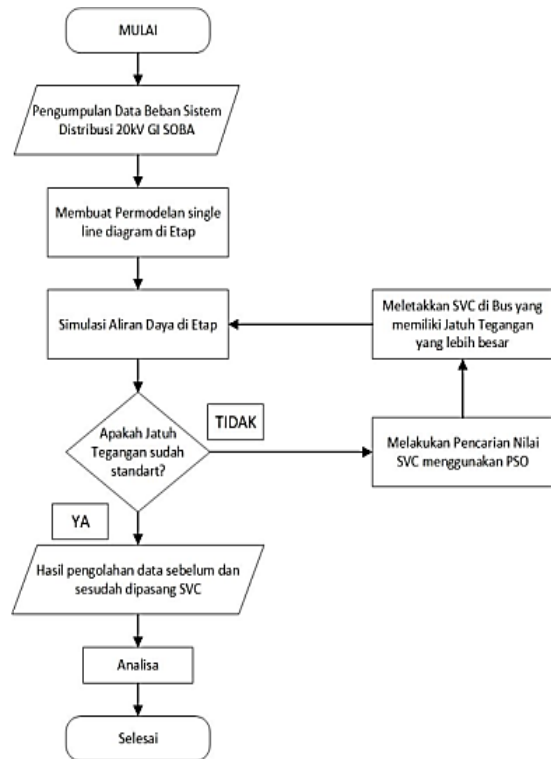


Gambar 4. Ilustrasi Perubahan Posisi Setiap Particle. ([6])

Jika pembaharuan nilai posisi setiap *particle* telah tercapai kondisi dimana nilai iterasi maksimum atau pengulangan telah mencapai nilai optimum maka pengulangan berhenti. Kemudian nilai optimumnya akan diambil sebagai hasil dari optimasi PSO. Jika belum mendapatkan hasil yang optimal, iterasi akan diulangi dengan masuk pada batasan antara posisi setiap *particle*, posisi terbaik *particle*, dan posisi terbaik populasi.

F. Metode Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan demi tercapainya penelitian yang baik. Langkah yang nantinya akan dilakukan antara lain yaitu dilakukan perancangan sistem dan simulasi pada ETAP. Sistem yang digunakan adalah jaringan listrik distribusi 20 kv GI Soba. Selanjutnya adalah penentuan kapasitas SVC dengan algoritma PSO menggunakan software MATLAB untuk menemukan nilai yang optimal. Berikutnya adalah penempatan SVC pada lokasi yang cenderung memiliki jatuh tegangan lebih besar/melebihi standar.



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN ANALISA

A. Analisa Aliran Daya

Hasil Aliran Daya atau Load Flow digunakan mengetahui kondisi awal tegangan pada sistem kelistrikan. Dibawah ini adalah tabel Hasil Aliran Daya dari data, tanpa menggunakan SVC.

Tabel 1. Hasil aliran daya tanpa menggunakan SVC

Bus ID	KV	Voltage (%)	MW	MVAR
Bus 1	0,38	95,8	0,287	0,217
Bus 2	0,38	95,2	0,231	0,167
Bus 3	0,38	94,76	0,168	0,119
Bus 4	0,38	94,48	0,109	0,075
Bus 5	0,38	94,35	0,054	0,033
Bus 6	0,38	97,08	0,235	0,298
Bus 7	0,38	96,38	0,204	0,251
Bus 8	0,38	95,84	0,148	0,201
Bus 9	0,38	95,52	0,075	0,132
Bus 10	0,38	95,22	0,07	0,122
Bus 11	0,38	94,96	0,06	0,102
Bus 12	0,38	94,75	0,054	0,086
Bus 13	0,38	94,55	0,047	0,075
Bus 14	0,38	94,4	0,036	0,063
Bus 15	0,38	94,32	0,011	0,038
Bus 16	0,38	94,25	0,01	0,029
Bus 17	0,38	97,07	0,169	0,29
Bus 18	0,38	96,41	0,155	0,266
Bus 19	0,38	96,22	0,145	0,254
Bus 20	0,38	95,64	0,133	0,24
Bus 21	0,38	95,16	0,109	0,197

Bus 22	0,38	94,72	0,099	0,178
Bus 23	0,38	94,32	0,09	0,166
Bus 24	0,38	93,95	0,072	0,154
Bus 25	0,38	93,71	0,049	0,105
Bus 26	0,38	93,55	0,029	0,065
Bus 27	0,38	93,43	0,022	0,054
Bus 28	0,38	95,7	0,18	0,179
Bus 29	0,38	95,21	0,158	0,163
Bus 30	0,38	94,83	0,132	0,119
Bus 31	0,38	94,45	0,13	0,112
Bus 32	0,38	94,12	0,12	0,1
Bus 33	0,38	94,05	0,021	0,024
Bus 34	0,38	95,92	0,262	0,215
Bus 35	0,38	95,39	0,225	0,192
Bus 36	0,38	95,02	0,128	0,115
Bus 37	0,38	94,65	0,128	0,112
Bus 38	0,38	94,37	0,101	0,087
Bus 39	0,38	94,3	0,02	0,024
Bus 40	0,38	95,69	0,211	0,154
Bus 41	0,38	95,17	0,199	0,143
Bus 42	0,38	94,73	0,168	0,118
Bus 43	0,38	94,69	0,011	0,017
Bus 44	0,38	94,66	0,006	0,01
Bus 45	0,38	96,47	0,275	0,332
Bus 46	0,38	95,69	0,242	0,267
Bus 47	0,38	95,47	0,23	0,235
Bus 48	0,38	94,92	0,171	0,185
Bus 49	0,38	94,51	0,13	0,137
Bus 50	0,38	94,32	0,064	0,059
Bus 51	0,38	94,28	0,018	0,01
Bus 52	0,38	96,64	0,221	0,188
Bus 53	0,38	96,19	0,157	0,14
Bus 54	0,38	95,92	0,083	0,097
Bus 55	0,38	95,78	0,04	0,048
Bus 56	0,38	95,7	0,029	0,028
Bus 57	0,38	95,62	0,028	0,024

Bus 31	0,38	94,45	0,13	0,112
Bus 32	0,38	94,12	0,12	0,1
Bus 33	0,38	94,05	0,021	0,024
Bus 37	0,38	94,65	0,128	0,112
Bus 38	0,38	94,37	0,101	0,087
Bus 39	0,38	94,3	0,02	0,024
Bus 42	0,38	94,73	0,168	0,118
Bus 43	0,38	94,69	0,011	0,017
Bus 44	0,38	94,66	0,006	0,01
Bus 48	0,38	94,92	0,171	0,185
Bus 49	0,38	94,51	0,13	0,137
Bus 50	0,38	94,32	0,064	0,059
Bus 51	0,38	94,28	0,018	0,01

Dari Tabel 2 kita mengetahui bahwa ada 29 Bus yang memiliki jatuh tegangan dibawah standar atau jatuh tegangan yang melebihi 5%

B. Perbaikan Tegangan Menggunakan Perhitungan Manual

Setelah mengetahui bus yang memiliki jatuh tegangan, lalu berikutnya dilakukan perbaikan tegangan pada bus dengan SVC menggunakan perhitungan rumus manual. Setelah diketahui hasil aliran dayanya berikutnya yaitu dicari daya reaktif yang akan dimasukkan kedalam parameter SVC. Nilai daya reaktif (Q) ini dapat ditentukan dengan perhitungan nilai daya setelah dijalankan. Nilai Q1 didapatkan pada tabel 2 dengan melihat load dalam satuan MVAR. Nilai Q2 bisa dilihat dari kondisi awal beban daya reaktif yang terpasang pada jaringan listrik. Contoh daya reaktif awal sebesar 80 kVAR maka hasil dari Q2 adalah $42 \text{ kVAR} \times 0,9999 / 1000 = 0,041 \text{ MVAR}$.

Tabel 3. Perbaikan Tegangan Menggunakan Perhitungan Manual.

No	Bus	Sebelum SVC (Voltage %)	Sesudah SVC (Voltage %)
1	Bus 1	95,8	98,53
2	Bus 2	95,2	98,35
3	Bus 3	94,76	98,26
4	Bus 4	94,48	98,32
5	Bus 5	94,35	98,19
6	Bus 6	97,08	98,72
7	Bus 7	96,38	98,32
8	Bus 8	95,84	98,07
9	Bus 9	95,52	98,04
10	Bus 10	95,22	98,03
11	Bus 11	94,96	98,06
12	Bus 12	94,75	98,13
13	Bus 13	94,55	98,23
14	Bus 14	94,4	98,36
15	Bus 15	94,32	98,57
16	Bus 16	94,25	98,51
17	Bus 17	97,07	98,8
18	Bus 18	96,41	98,51
19	Bus 19	96,22	98,43
20	Bus 20	95,64	98,2
21	Bus 21	95,16	98,08
22	Bus 22	94,72	98
23	Bus 23	94,32	97,96
24	Bus 24	93,95	97,95
25	Bus 25	93,71	98,06
26	Bus 26	93,55	98,26

Dari data pada Tabel 1 dapat diketahui bus yang memiliki Jatuh Tegangan, yaitu yang melebihi 5%. Dibawah ini adalah tabel bus yang memiliki Jatuh Tegangan dibawah standar.

Tabel 2. Hasil Aliran Daya Bus yang Memiliki Jatuh Tegangan Sebelum SVC

Bus ID	KV	Voltage (%)	MW	MVAR
Bus 3	0,38	94,76	0,168	0,119
Bus 4	0,38	94,48	0,109	0,075
Bus 5	0,38	94,35	0,054	0,033
Bus 11	0,38	94,96	0,06	0,102
Bus 12	0,38	94,75	0,054	0,086
Bus 13	0,38	94,55	0,047	0,075
Bus 14	0,38	94,4	0,036	0,063
Bus 15	0,38	94,32	0,011	0,038
Bus 16	0,38	94,25	0,01	0,029
Bus 22	0,38	94,72	0,099	0,178
Bus 23	0,38	94,32	0,09	0,166
Bus 24	0,38	93,95	0,072	0,154
Bus 25	0,38	93,71	0,049	0,105
Bus 26	0,38	93,55	0,029	0,065
Bus 27	0,38	93,43	0,022	0,054
Bus 30	0,38	94,83	0,132	0,119

27	Bus 27	93,43	98,14
28	Bus 28	95,7	98,85
29	Bus 29	95,21	98,67
30	Bus 30	94,83	98,6
31	Bus 31	94,45	98,54
32	Bus 32	94,12	98,51
33	Bus 33	94,05	98,44
34	Bus 34	95,92	98,89
35	Bus 35	95,39	98,65
36	Bus 36	95,02	98,58
37	Bus 37	94,65	98,52
38	Bus 38	94,37	98,53
39	Bus 39	94,3	98,47
40	Bus 40	95,69	98,79
41	Bus 41	95,17	98,56
42	Bus 42	94,73	98,41
43	Bus 43	94,69	98,64
44	Bus 44	94,66	98,62
45	Bus 45	96,47	98,1
46	Bus 46	95,69	98,76
47	Bus 47	95,47	97,68
48	Bus 48	94,92	97,56
49	Bus 49	94,51	97,58
50	Bus 50	94,32	97,83
51	Bus 51	94,28	97,78
52	Bus 52	96,64	97,87
53	Bus 53	96,19	97,43
54	Bus 54	95,92	97,15
55	Bus 55	95,78	97,02
56	Bus 56	95,7	96,93
57	Bus 57	95,62	96,85

Dari Tabel 3, kita dapat melihat bahwa setelah melakukan perbaikan tegangan menggunakan perhitungan manual terjadi kenaikan tegangan. Seperti contoh pada bus 4 yang mulanya 94,48% menjadi 98,32%.

C. Inisialisasi Parameter PSO

Pada Tabel 4 menunjukkan nilai-nilai dari parameter PSO yang digunakan untuk mencari nilai yang optimal dari SVC. Nilai-nilai parameter ukuran swarm, C1, C2, R1, R2, bobot inersia minimum dan maksimum disesuaikan dengan nilai dari θ adalah 0,4 sampai 0,9; nilai r1 dan r2 adalah 0 sampai 1, dan nilai c1 dan c2 adalah 0 sampai 4 dan penjumlahan c1 dengan c2 tidak lebih kecil dari 4. Iterasi maksimum sebanyak 100 agar semua partikel mengarah kepada satu nilai yang sama. Rating SVC ditentukan berdasarkan total daya reaktif beban.

Tabel 4. Parameter PSO

Parameter	Nilai
Ukuran Swarm	10
Iterasi Maksimum	50
C1	1
C2	1
R1	0,3
R2	0,6
Bobot Inersia Minimum	0,4
Bobot Inersia Maksimum	0,9
Rating SVC Minimum	0
Rating SVC Maksimum	2,69

D. Hasil Perbaikan Tegangan Menggunakan PSO

Setelah melakukan pencarian nilai optimal SVC menggunakan PSO, nilai tersebut akan diinjeksi ke dalam parameter SVC. Tabel 5 berikut ini menunjukkan hasil perbaikan tegangan menggunakan Parameter PSO.

Tabel 5. Perbaikan Tegangan Menggunakan Parameter PSO

No	Bus	Sebelum SVC (Voltage %)	Sesudah SVC (Voltage %)
1	Bus 1	95,8	98,56
2	Bus 2	95,2	98,38
3	Bus 3	94,76	98,29
4	Bus 4	94,48	98,35
5	Bus 5	94,35	98,22
6	Bus 6	97,08	99,04
7	Bus 7	96,38	98,69
8	Bus 8	95,84	98,5
9	Bus 9	95,52	98,52
10	Bus 10	95,22	98,57
11	Bus 11	94,96	98,66
12	Bus 12	94,75	98,78
13	Bus 13	94,55	98,93
14	Bus 14	94,4	99,12
15	Bus 15	94,32	99,21
16	Bus 16	94,25	99,15
17	Bus 17	97,07	99,13
18	Bus 18	96,41	98,92
19	Bus 19	96,22	98,86
20	Bus 20	95,64	98,71
21	Bus 21	95,16	98,66
22	Bus 22	94,72	98,66
23	Bus 23	94,32	98,68
24	Bus 24	93,95	98,75
25	Bus 25	93,71	98,93
26	Bus 26	93,55	98,99
27	Bus 27	93,43	98,87
28	Bus 28	95,7	98,85
29	Bus 29	95,21	98,67
30	Bus 30	94,83	98,6
31	Bus 31	94,45	98,54
32	Bus 32	94,12	98,51
33	Bus 33	94,05	98,44
34	Bus 34	95,92	98,89
35	Bus 35	95,39	98,65
36	Bus 36	95,02	98,58
37	Bus 37	94,65	98,52
38	Bus 38	94,37	98,53
39	Bus 39	94,3	98,47
40	Bus 40	95,69	98,79
41	Bus 41	95,17	98,56
42	Bus 42	94,73	98,41
43	Bus 43	94,69	98,64
44	Bus 44	94,66	98,62
45	Bus 45	96,47	98,62
46	Bus 46	95,69	98,23
47	Bus 47	95,47	98,14
48	Bus 48	94,92	97,97
49	Bus 49	94,51	97,94

50	Bus 50	94,32	98,14
51	Bus 51	94,28	98,09
52	Bus 52	96,64	98,69
53	Bus 53	96,19	98,5
54	Bus 54	95,92	98,48
55	Bus 55	95,78	98,6
56	Bus 56	95,7	98,77
57	Bus 57	95,62	98,69

Dari Tabel 5 kita bisa melihat bahwa hasil dari parameter PSO yang diinjeksikan ke dalam parameter SVC, terjadi kenaikan tegangan. Bus 4 yang semula 94,48% menjadi 98,35%.

E. Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dengan PSO

Berikutnya telah diketahui hasil dari perhitungan manual SVC dengan hasil dari parameter PSO. Pada Tabel 6 berikut adalah hasil perbandingan dari perhitungan manual dengan hasil dari parameter PSO.

Tabel 6. Hasil Perbandingan Perhitungan Manual Dengan Hasil Parameter PSO.

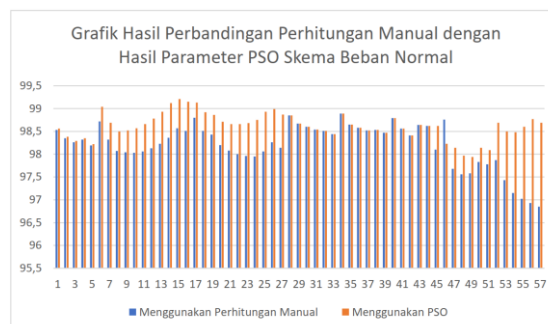
No.	Bus ID	SVC Manual (Voltage %)	SVC PSO (Voltage %)
1	Bus 1	98,53	98,56
2	Bus 2	98,35	98,38
3	Bus 3	98,26	98,29
4	Bus 4	98,32	98,35
5	Bus 5	98,19	98,22
6	Bus 6	98,72	99,04
7	Bus 7	98,32	98,69
8	Bus 8	98,07	98,5
9	Bus 9	98,04	98,52
10	Bus 10	98,03	98,57
11	Bus 11	98,06	98,66
12	Bus 12	98,13	98,78
13	Bus 13	98,23	98,93
14	Bus 14	98,36	99,12
15	Bus 15	98,57	99,21
16	Bus 16	98,51	99,15
17	Bus 17	98,8	99,13
18	Bus 18	98,51	98,92
19	Bus 19	98,43	98,86
20	Bus 20	98,2	98,71
21	Bus 21	98,08	98,66
22	Bus 22	98	98,66
23	Bus 23	97,96	98,68
24	Bus 24	97,95	98,75
25	Bus 25	98,06	98,93
26	Bus 26	98,26	98,99
27	Bus 27	98,14	98,87
28	Bus 28	98,85	98,85
29	Bus 29	98,67	98,67
30	Bus 30	98,6	98,6
31	Bus 31	98,54	98,54
32	Bus 32	98,51	98,51
33	Bus 33	98,44	98,44
34	Bus 34	98,89	98,89
35	Bus 35	98,65	98,65
36	Bus 36	98,58	98,58

37	Bus 37	98,52	98,52
38	Bus 38	98,53	98,53
39	Bus 39	98,47	98,47
40	Bus 40	98,79	98,79
41	Bus 41	98,56	98,56
42	Bus 42	98,41	98,41
43	Bus 43	98,64	98,64
44	Bus 44	98,62	98,62
45	Bus 45	98,1	98,62
46	Bus 46	98,76	98,23
47	Bus 47	97,68	98,14
48	Bus 48	97,56	97,97
49	Bus 49	97,58	97,94
50	Bus 50	97,83	98,14
51	Bus 51	97,78	98,09
52	Bus 52	97,87	98,69
53	Bus 53	97,43	98,5
54	Bus 54	97,15	98,48
55	Bus 55	97,02	98,6
56	Bus 56	96,93	98,77
57	Bus 57	96,85	98,69

Pada Tabel 6 diatas, dapat dilihat bahwa terjadi perubahan kenaikan tegangan antara perhitungan manual dengan hasil parameter PSO.

F. Grafik Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dengan PSO.

Pada gambar 6 berikut ini akan dijelaskan secara grafik hasil perbandingan dari kedua perhitungan tersebut. PSO memiliki tingkat kesamaan dengan perhitungan manual. Dari 57 bus terdapat 12 bus yang memiliki kesamaan hasil, jadi perbandingan pada kedua perhitungan tersebut memiliki persentase sebesar 21%.



Gambar 6. Grafik Hasil Perbandingan Perhitungan Manual dengan Hasil Parameter PSO.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan simulasi pada penelitian diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Setelah penempatan SVC kepada bus-bus yang mengalami jatuh tegangan, terjadi kenaikan tegangan. Pada bus 4 yang mulanya 94,48% menjadi 98,35%. Pada bus 14 yang mulanya 94,4% menjadi 99,12%. Pada bus 15 yang mulanya 94,32% menjadi 99,21%.
2. Jenis SVC yang digunakan yaitu *Thyristor Switched Capacitor* (TSC) untuk daya reaktif yang diinjeksikan ke bus yang memiliki Jatuh Tegangan.

3. Dari Tabel 6 diatas dapat diketahui terjadi kenaikan tegangan antara perhitungan manual dengan hasil parameter PSO, seperti contoh pada Bus 4 yang mulanya 98,32% menjadi 98,35%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Wahyudianto, S. Sarwito, and A. Kurniawan, "Analisa Tegangan Jatuh pada Sistem Distribusi," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, p. G-344-G-348, 2016.
- [2] N. H. Lumintang, Y. Rahmawati, and Aripriharta, "Analisis pemasangan trafo sisipan terhadap perbaikan jatuh tegangan di pln sumberpucung karangkates," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Elektro Terap.*, vol. 03, p. pp 24-29, 2019.
- [3] Razana, Afifa. 2017. Optimalisasi Kapasitas SVC Pada Sistem Jawa Madura Bali(JALI) 500 KV Menggunakan Algoritma Genetika. [Skripsi]. Surabaya : Perpustakaan FTIK UHT. *Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., 1967.
- [4] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, "Analysis of the covariance structure of health-related indicators in the elderly at home with a focus on subjective health Title," vol. 06, no. 3.
- [5] D. Mulyana, I. Winarno, D. Rahmatullah, and I. D. P. K, "Penempatan Lokasi Optimal Static Var Compensator (Svc) Untuk Minimisasi Rugi Daya Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (Pso)," vol. 13, no. 2, pp. 100–110, 2020.
- [6] D. Rahmatullah, "Setting Doctr Adaptif Pada Sistem Distribusi Dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma Pso - Neural Network Adaptive Doctr Setting on Distribution Systems With Distributed Generation Using Pso-Neural Network Algorithm," 2017.