

OPTIMASI PENEMPATAN DAN KAPASITAS SVC DENGAN METODE ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

Khairina Noor .A.¹, Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D.², Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: khairinana@yahoo.com

Abstrak – Injeksi daya reaktif menggunakan *Static VAR Compensator* (SVC) merupakan salah satu upaya yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan rugi – rugi daya transmisi dan penurunan tegangan akibat pertambahan beban listrik. *Artificial bee colony algorithm* merupakan salah satu jenis metode optimasi berbasis kecerdasan lebah yang digunakan untuk menentukan posisi dan kapasitas SVC. Pada penelitian ini, algoritma artificial bee colony diaplikasikan pada data sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV dengan tiga macam kondisi pembebanan, yaitu 100%, 80%, dan 60%. Kapasitas SVC yang digunakan dalam simulasi adalah 0-300 MVAR. Pada kasus pembebanan 100%, diperoleh penurunan sebesar 11,87% dan 12,14% untuk rugi daya aktif dan reaktif berturut-turut. Pada pembebanan 80%, diperoleh penurunan sebesar 8,92% dan 9,14%, sedangkan pada pembebanan 60% diperoleh penurunan 7,39% dan 7,68%. Pemasangan SVC juga mampu memperbaiki level tegangan kritis hingga berada pada *range* tegangan standar yang diijinkan.

Kata Kunci - *artificial bee colony algorithm*, injeksi daya reaktif, rugi daya, SVC, tegangan

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan suatu kebutuhan mutlak yang harus dipenuhi untuk menjamin keberlangsungan hidup masyarakat masa kini. Pemenuhan kebutuhan ini terus meningkat seiring bertambahnya pertumbuhan beban dari tahun ke tahun

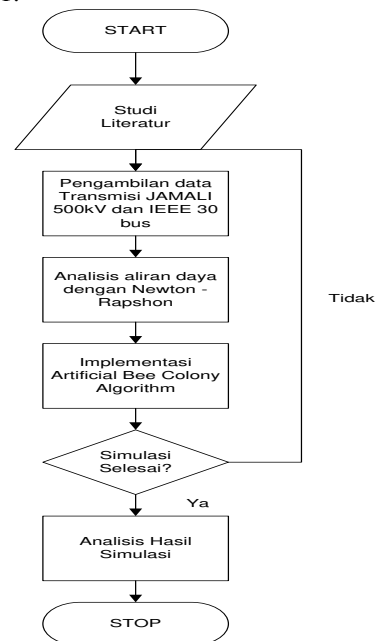
Permasalahan lain yang sering dijumpai dalam operasi sistem tenaga listrik adalah letak gardu induk yang berada sangat jauh dari sistem pembangkit sehingga mengakibatkan penurunan level tegangan yang cukup signifikan. Level tegangan turut berdampak pada kualitas daya yang dihasilkan. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran mempunyai nilai resistansi, induktansi dan kapasitansi, sehingga menimbulkan jatuh tegangan sepanjang saluran serta rugi daya. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan cara kompensasi daya reaktif menggunakan salah satu perangkat *FACTS*, yaitu *Static Var Compensator* (SVC) yang mampu menstabilkan level tegangan serta mengurangi rugi-rugi daya yang dapat dikontrol melalui sudut penyaluran *thyristor*. [1]

Masalah selanjutnya adalah penentuan posisi serta kapasitas optimum SVC yang akan digunakan. Pada penelitian ini digunakan metode optimasi *artificial bee colony algorithm*, suatu metode

metaheuristik berbasis kecerdasan lebah dalam pencarian makanan [2].

II. PENERAPAN METODE OPTIMASI ABC

Metode penelitian yang digunakan secara umum ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram alir perhitungan dan analisis data ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Analisis Aliran Daya

Dengan mempresentasikan saluran transmisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, maka persamaan aliran daya pada suatu sistem transmisi adalah[4] :

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \quad (1)$$

atau

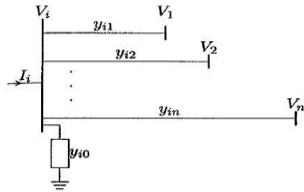
$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2)$$

dengan:

I_i = arus yang masuk ke bus i

V_i = tegangan pada bus i

y_{ij} = admitansi antara saluran i dan j



Gambar 2. Tipe Bus pada Sistem Tenaga

Dari persamaan (2), arus yang memasuki bus dapat ditulis ulang dalam bentuk matriks admitansi seperti persamaan berikut [4]:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (3)$$

dengan : $P_i - jQ_i = V_i^* I_i$, maka

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i I_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (4)$$

Dengan memisahkan bagian *real* dan imajiner, maka didapatkan :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

dengan:

I_i = arus pada bus i

V_i = tegangan pada bus i

V_j = tegangan pada bus j

Y_{ij} = admitansi antara bus i dan j

P_i = daya aktif pada bus i

Q_i = daya reaktif pada bus i

θ_{ij} = sudut polar admitansi Y_{ij}

δ_j = sudut tegangan V_j

Matriks Jacobian memberikan hubungan antara perubahan kecil pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^{k_i}$ dan *magnitude* tegangan $\Delta |V_i^{k_i}|$ dengan perubahan kecil pada daya aktif dan reaktif $\Delta P_i^{k_i}$ dan $\Delta Q_i^{k_i}$. Dalam bentuk yang lebih singkat, matriks di atas dapat ditulis sebagai :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (7)$$

$\Delta P_i^{k_i}$ dan $\Delta Q_i^{k_i}$ adalah selisih antara nilai yang diharapkan dan nilai sebenarnya atau dikenal sebagai daya residu, dirumuskan dengan :

$$\Delta P_i^{k_i} = P_i^{sch} - P_i^k \quad (8)$$

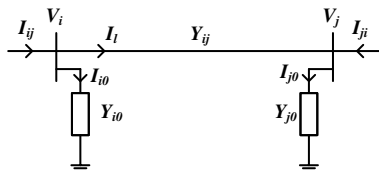
$$\Delta Q_i^{k_i} = Q_i^{sch} - Q_i^k \quad (9)$$

Perkiraan nilai baru untuk tegangan bus adalah:

$$\delta^{(k+1)}_i = \delta^k_i + \Delta \delta^k_i \quad (10)$$

$$|V^{(k+1)}_i| = |V^k_i| + |\Delta V^k_i| \quad (11)$$

Setelah hasil iterasi aliran daya di atas selesai dikerjakan, langkah selanjutnya adalah perhitungan rugi – rugi saluran. Aliran arus antara bus i dan j diasumsikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Saluran Transmisi untuk Perhitungan Aliran Daya

Jika arus mengalir dari i ke j , maka :

$$I_{ij} = I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (12)$$

Apabila arus mengalir sebaliknya, maka I_{ji} dianggap positif, sehingga

$$I_{ji} = -I_i + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (13)$$

Daya kompleks S_{ij} dari bus i ke j dan S_{ji} dari bus j ke i adalah :

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (14)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (15)$$

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (16)$$

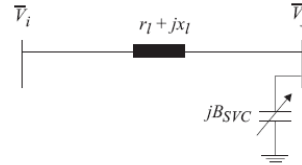
dengan:

S_{Lij} = total rugi daya saluran dari i ke j (MVA)

B. Static VAR Compensator

SVC merupakan salah satu jenis perangkat FACTS tipe *impedance variable* yang berfungsi baik untuk membangkitkan maupun menyerap daya reaktif. Pada bentuk yang paling sederhana, SVC terdiri atas *thyristor controlled reactor* (TCR) yang dipasang secara paralel dengan kapasitor *bank*. Prinsip kerja SVC secara umum adalah mengompensasi daya reaktif dengan cara mengatur sudut penyalan *thyristor* sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC [5].

Representasi permodelan SVC yang terhubung pada saluran i dan j ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Representasi SVC

Daya reaktif yang diinjeksikan pada titik j dituliskan dalam persamaan berikut^[3]:

$$Q_j = -V_j^2 jB_{SVC} \quad (17)$$

dengan:

Q_j = daya reaktif pada titik j

V_j = tegangan pada titik j

$B_{SVC} = B_C - B_L$, B_C dan B_L adalah susceptansi pada *fixed capacitor* dan TCR

C. Artificial Bee Colony Algorithm

Pada ABC *algorithm*, koloni lebah terdiri atas tiga kelompok lebah, yakni lebah pekerja, lebah *onlooker*, dan lebah *scouts*.

Langkah – langkah utama dari algoritma ABC diberikan seperti di bawah ini[3] :

1. Inialisasi sumber makanan awal secara acak

$$\theta_{ij} = \theta_{imin} + r(\theta_{imax} - \theta_{imin}) \quad (18)$$

dengan:

θ_i = posisi lebah pekerja

$i = 1$: SN (sumber makanan)

$j = 1$: N (jumlah koloni)

r = nilai random [0,1]

2. Masing-masing lebah pekerja akan mencari sumber makanan baru dihasilkan dengan persamaan :

$$x_{ij}(t+1) = \theta_{ij}(t) + \phi(\theta_{ij}(t) - \theta_{kj}(t)) \quad (19)$$

dengan:

x = posisi lebah pekerja

t = jumlah iterasi
 θ_k = lebah yang terpilih secara acak dan $k \neq i$

\emptyset = urutan variabel acak [0,1]

3. Lebah *onlooker* memilih sumber makanan berdasarkan persamaan probabilitas sebagai berikut :

$$P_i = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^{SN} F(\theta_k)} \quad (20)$$

dengan:

P_i = probabilitas pemilihan,

SN = jumlah sumber makanan,

θ_i = posisi lebah pekerja

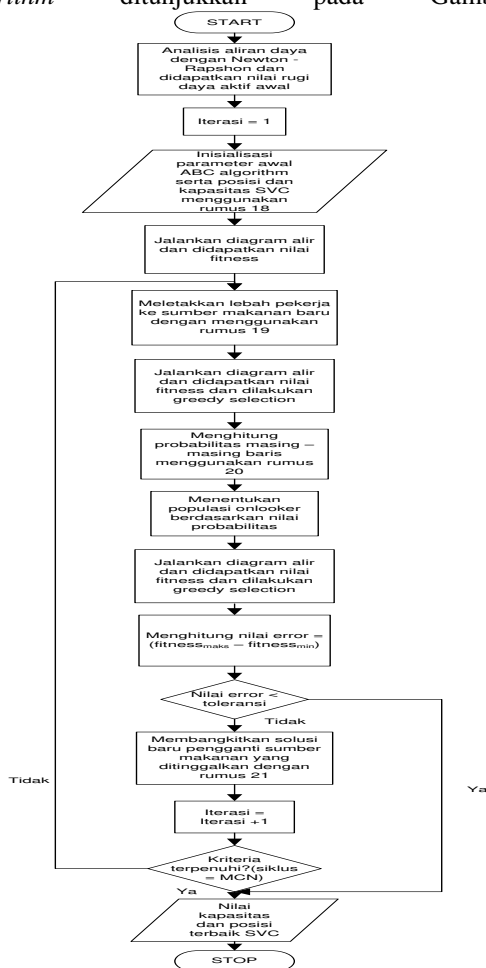
$F(\theta_i)$ = nilai *fitness*

4. Lebah pekerja yang meninggalkan sumber makanan berubah menjadi lebah *scout*. Lebah *scout* mencari sumber makanan baru yang dijabarkan dengan persamaan :

$$\theta_{ij} = \theta_{jmin} + r(\theta_{jmax} - \theta_{jmin}) \quad (21)$$

Terdapat tiga parameter kontrol utama yang digunakan dalam algoritma ABC, yaitu: jumlah sumber makanan yang sama dengan jumlah lebah pekerja atau lebah *onlooker* (SN), nilai limit, dan jumlah siklus maksimum (MCN).

Diagram alir implementasi *artificial bee colony* algoritim ditunjukkan pada Gambar



5. Gambar 5. Diagram Alir Implementasi ABC Algorithm

Dalam melakukan optimasi, tegangan V_i tiap bus diupayakan berada pada batas rentang sebagai berikut:

$$V^{min}_i \leq V_i \leq V^{max}_i$$

i = nomor bus

V^{min} = 0,95 pu

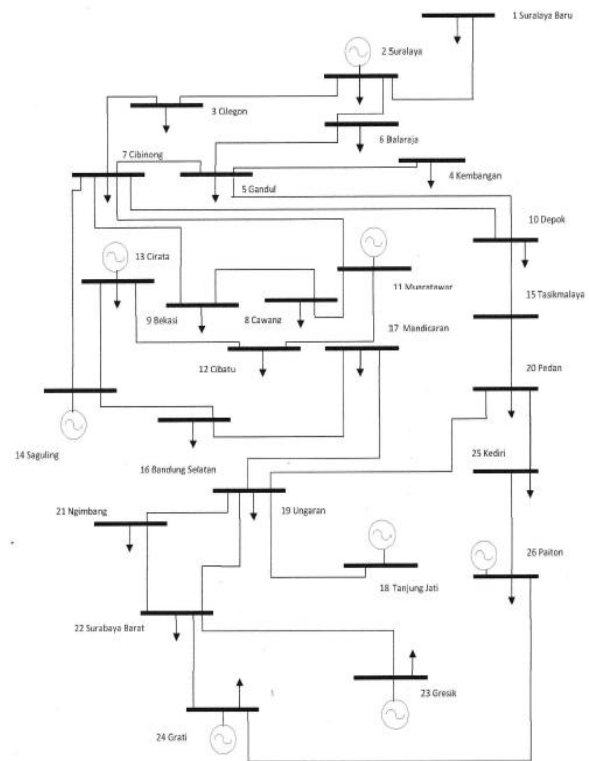
V^{max} = 1,05 pu

III. ANALISIS DATA

Pada penelitian ini, analisis dilakukan pada tiga macam kondisi pembebanan, yaitu pembebanan puncak 100%, pembebanan rata – rata 80%, serta pembebanan ringan 60%.

A. Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV

Gambar *Single line diagram* sistem transmisi Jawa- Bali 500 kV dapat dilihat pada Gambar 6 [6].



Gambar 6. Single Line Diagram Sistem Jawa – Bali 500 kV

Gambar 6 menunjukkan bahwa sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV terdiri atas 26 bus, dengan rincian sebagai berikut :

1. Bus *slack* = Suralaya
2. Bus generator = Muara Tawar, Cirata, Saguling, Tanjung Jati, Gresik, Paiton, Grati
3. Bus beban = New Suralaya, Cilegon, Kembangan, Gandul, Balaraja, Cibinong, Cawang, Bekasi, Cibatu, Bandung Selatan, Mandiragan, Ungaran, Surabaya Barat, Depok, Tasikmalaya, Pedan, Kediri, dan Ngimbang

Sementara itu, data saluran sistem terdiri atas 31 cabang saluran.

Penyelesaian permasalahan aliran daya ini didasarkan pada :

1. Base tegangan = 500 kV
2. Base daya = 1000 MVA
3. Akurasi = 0,001
4. Maksimum Iterasi = 200

Hasil analisis *load flow* menggunakan metode *Newton – Raphson* memberikan nilai rugi-rugi daya sistem transmisi dan tegangan bus. Nilai tegangan bus dengan *range* di luar standar yang diijinkan sebelum pemasangan SVC pada kondisi pembebanan 100%, 80%, dan 60% ditunjukkan berturut-turut pada Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1. Nilai Tegangan Di bawah Standar Pada Pembebanan 100%

No Bus	Bus	Voltage (pu)	Condition
15	Tasikmalaya	0,9178	Undervoltage
16	Bandung Selatan	0,9371	Undervoltage
17	Mandicaran	0,9257	Undervoltage
19	Ungaran	0,9205	Undervoltage
20	Pedan	0,8944	Undervoltage
25	Kediri	0,9135	Undervoltage

Dari Tabel 1, nilai tegangan pada bus 15, 16, 17, 19, 20, dan 25 berada di bawah standar, yaitu 0,95 p.u.

Rugi daya baik aktif maupun reaktif yang dihasilkan pada pembebanan 100% adalah 154,9537 MW dan 1595,1926MVAR.

Tabel 2. Nilai Tegangan Di bawah Standar Pada Pembebanan 80%

No Bus	Bus	Voltage (pu)	Condition
15	Tasikmalaya	0,9364	Undervoltage
17	Mandicaran	0,9419	Undervoltage
19	Ungaran	0,9376	Undervoltage
20	Pedan	0,9175	Undervoltage
25	Kediri	0,9323	Undervoltage

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, jumlah bus dengan nilai tegangan dibawah standar lebih sedikit dibanding pada pembebanan 100%, yaitu bus 15, 17, 19, 20, dan 25.

Rugi daya baik aktif maupun reaktif yang dihasilkan pada pembebanan 80% adalah 96,8666 MW dan 985,3328MVAR.

Tabel 3. Nilai Tegangan Di bawah Standar Pada Pembebanan 60%

No Bus	Bus	Voltage (pu)	Condition
20	Pedan	0,9447	Undervoltage

Seperti ditunjukkan pada Tabel 3, hanya terdapat satu bus dengan nilai di bawah standar pada pembebanan 60%, yaitu bus 20.

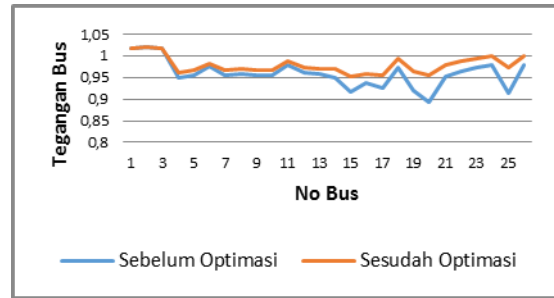
Rugi daya baik aktif maupun reaktif yang dihasilkan pada pembebanan 60% adalah 53,6165 MW dan 530,8466MVAR.

Nilai parameter *artificial bee colony* yang digunakan adalah:

1. Jumlah sumber makanan (SN) = 20
2. Nilai limit = 100
3. Siklus maksimum (MCN) = 100

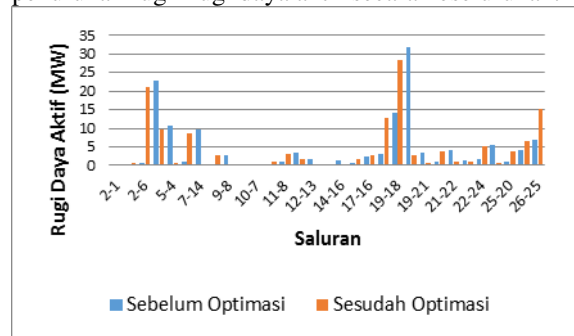
B. Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 100%

Setelah dilakukan pemasangan SVC dengan *range* kapasitas 0 – 300 MVAR, maka didapatkan nilai perbaikan tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

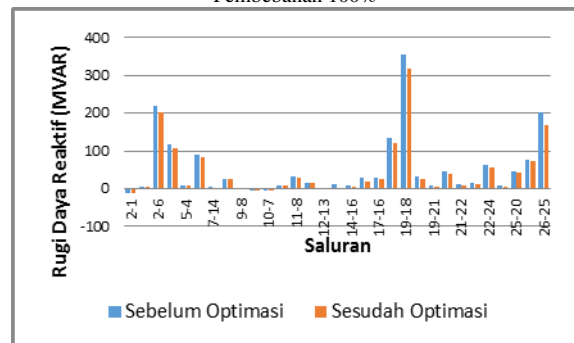


Gambar 7. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%

Sesuai dengan tujuan pemasangan SVC, Gambar 8 dan 9 masing – masing menunjukkan dampak injeksi daya reaktif SVC. Terlihat bahwa terjadi penurunan rugi- rugi daya aktif secara keseluruhan.



Gambar 8 .Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%



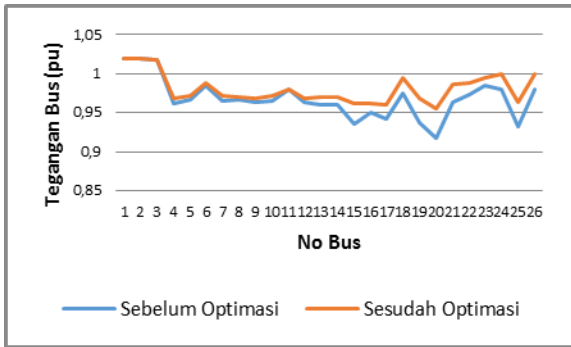
Gambar 9 .Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%

Besar daya reaktif injeksi dan posisi paling optimal yang diperoleh dari metode *artificial bee colony algorithm* masing – masing adalah 192,8656 MVAR pada bus 11, 300 MVAR pada bus 14, 300 MVAR pada bus 19, 300 MVAR pada bus 20, dan 300 MVAR pada bus 22, dan 300 MVAR pada bus 25.

Setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya aktif dan reaktif sebesar 136,557 MW dan 1401,551MVAR. Atau, masing – masing turun sebesar 11,87 % dan 12,14% .

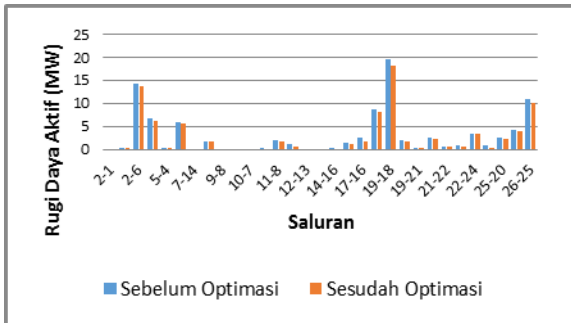
C. Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 80%

Setelah pemasangan SVC, didapatkan hasil perbaikan tegangan pada masing – masing bus sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 10.

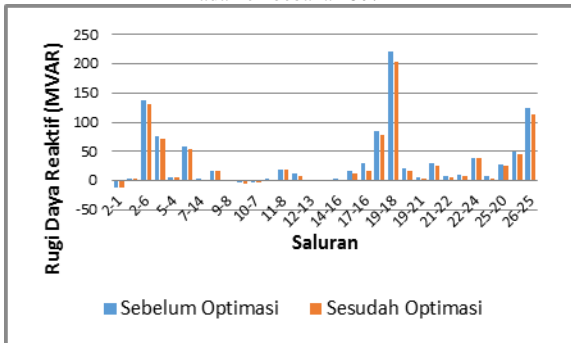


Gambar 10. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%

Sementara itu, hasil pengurangan daya aktif dan reaktif masing – masing ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11 .Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%



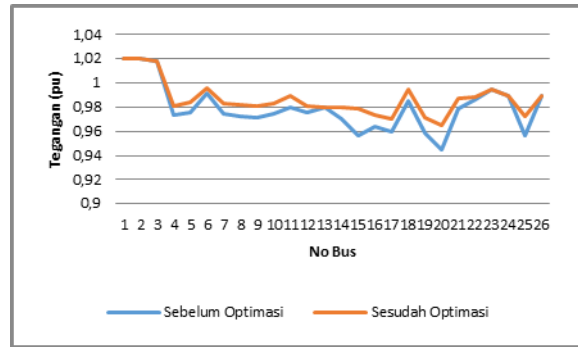
Gambar 12 .Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%

Besar daya reaktif injeksi dan posisi paling optimal yang diperoleh dari metode *artificial bee colony algorithm* masing – masing adalah 131,158 MVAR pada bus 7, 200 MVAR pada bus 19 dan 20, 119,866 MVAR pada bus 21, 27,688 MVAR pada bus 25 serta 49,737 MVAR pada bus 26.

Setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya aktif dan reaktif sebesar 88,2260 MW dan 895,297 MVAR. Atau, masing – masing turun sebesar 8,92 % dan 9,14%.

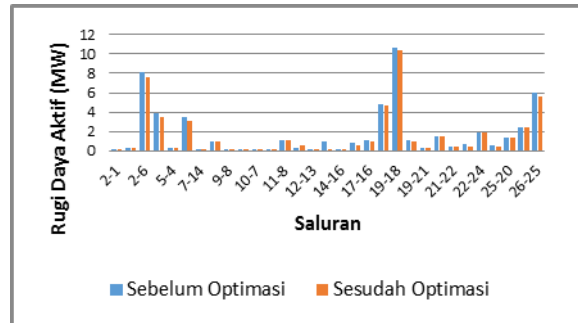
D. Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 60%

Setelah pemasangan SVC, didapatkan hasil perbaikan tegangan pada masing – masing bus seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.

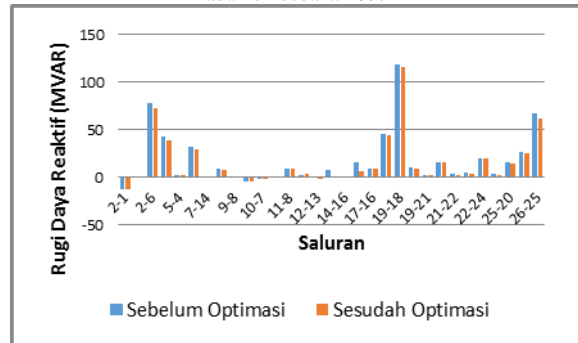


Gambar 13. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%

Sementara itu, hasil pengurangan daya aktif dan reaktif masing – masing ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15.



Gambar 14 .Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%



Gambar 15 .Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%

Besar daya reaktif injeksi dan posisi paling optimal yang diperoleh dari metode *artificial bee colony algorithm* masing – masing adalah 53,683 MVAR pada bus 13, 80,849 MVAR pada bus 14, 100 MVAR pada bus 15, 20, 21, dan 25.

Setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya aktif dan reaktif sebesar 49,6491 MW dan 490,061MVAR, atau masing – masing turun sebesar 7,39 % dan 7,68%.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pemasangan SVC terbukti mampu mengatasi permasalahan tegangan sehingga level tegangan semua bus mampu memenuhi batas tegangan yang diijinkan ($0.95 \leq V_{bus} \leq 1.05$ pu).
2. Selain itu, pemasangan SVC juga turut mengurangi rugi – rugi saluran transmisi. Terjadi penurunan rugi daya baik aktif maupun reaktif

sebesar 11,87% dan 12,14 % pada pembebanan 100%, 8,92% dan 9,14% pada pembebanan 80%, dan 7,39% dan 7,68% pada pembebanan 60%.

3. Semakin rendah tingkat pembebanan, kapasitas SVC yang digunakan akan semakin kecil dan persentase pengurangan rugi daya paling besar adalah ketika pembebanan maksimum

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Acha, Enrique. 2004. *FACTS Modelling and Simulation in Power Networks*. John Willey & Sons, England.
- [2] Bolaji, A. Khader, A. 2013. *Artificial Bee Colony Algorithm, Its Variants and Application : a Survey*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol 7, No 2
- [3] Prajapati, Singh. 2012. *Multi – Objective Reactive Power Optimization Using Artificial Bee Colony Algorithm*. International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol 2. July
- [4] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. McGraw Hill, Inc, Singapore.
- [5] Sadikvic, Rusejla. 2006. *Use of FACTS Devices for Power Flow Control and Damping of Oscillation in Power System*. Dissertation. Institute of Technology Zurich, Swiss
- [6] Supriatna, Gugun .2013. *Optimasi Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa – Bali dengan Aliran Daya Optimal MINOPF*. Tugas Akhir. UPI, Bandung