

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah - Nya, sehingga skripsi yang berjudul "Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC Dengan Metode *Artificial Bee Colony Algorithm*" ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

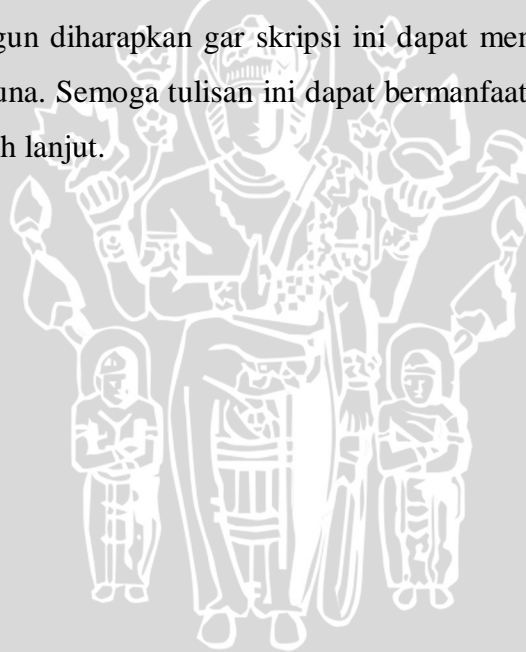
Pada skripsi ini dibahas tentang analisis posisi dan kapasitas perangkat *fact decives* SVC menggunakan salah satu metode kecerdasan buatan, yaitu *artificial bee colony* dan membandingkan hasilnya apabila tidak dipasang SVC pada suatu sistem transmisi.

Tanpa bantuan, bimbingan, serta dorongan dari semua pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin bisa terwujud. Pada kesempatan disampaikan rasa terima kasih yang sebesar - besarnya kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing skripsi pertama yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
3. Bapak Mochammad Rif'an, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik dan selaku dosen pembimbing skripsi kedua yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
5. Bapak Budi Setiawan, Ibu Diah Fadjar Anggraini, kakakku tersayang, Aditya Prihantoro dan Adisti Indriani atas dukungan doa, finansial, dan dorongan semangat yang senantiasa selalu diberikan hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Teman – teman tersayang, Atika Rahma Hadiana, Mega Firdausi, dan Resi Ratnasari atas bantuan semangat, doa, dan waktu yang selalu tersedia.

7. Brian Daris Firnanda atas dukungan doa, semangat, dan senantiasa selalu menemani dalam keadaan susah maupun senang selama menjalani perkuliahan dan diluar perkuliahan.
8. Teman - teman Teknik Elektro angkatan 2010 (Magnet) dan konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah menemani dan saling mendukung selama menjalani perkuliahan.
9. Rekan *spaghetters*, Puspita, Tri Wahyu, Deby, Nelly, dan Rizky yang selalu memberi semangat dan hiburan selama proses pengerjaan skripsi.
10. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Perlu disadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala - kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun diharapkan agar skripsi ini dapat menjadi karya tulis yang lebih baik dan lebih berguna. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.



Malang, Mei 2014

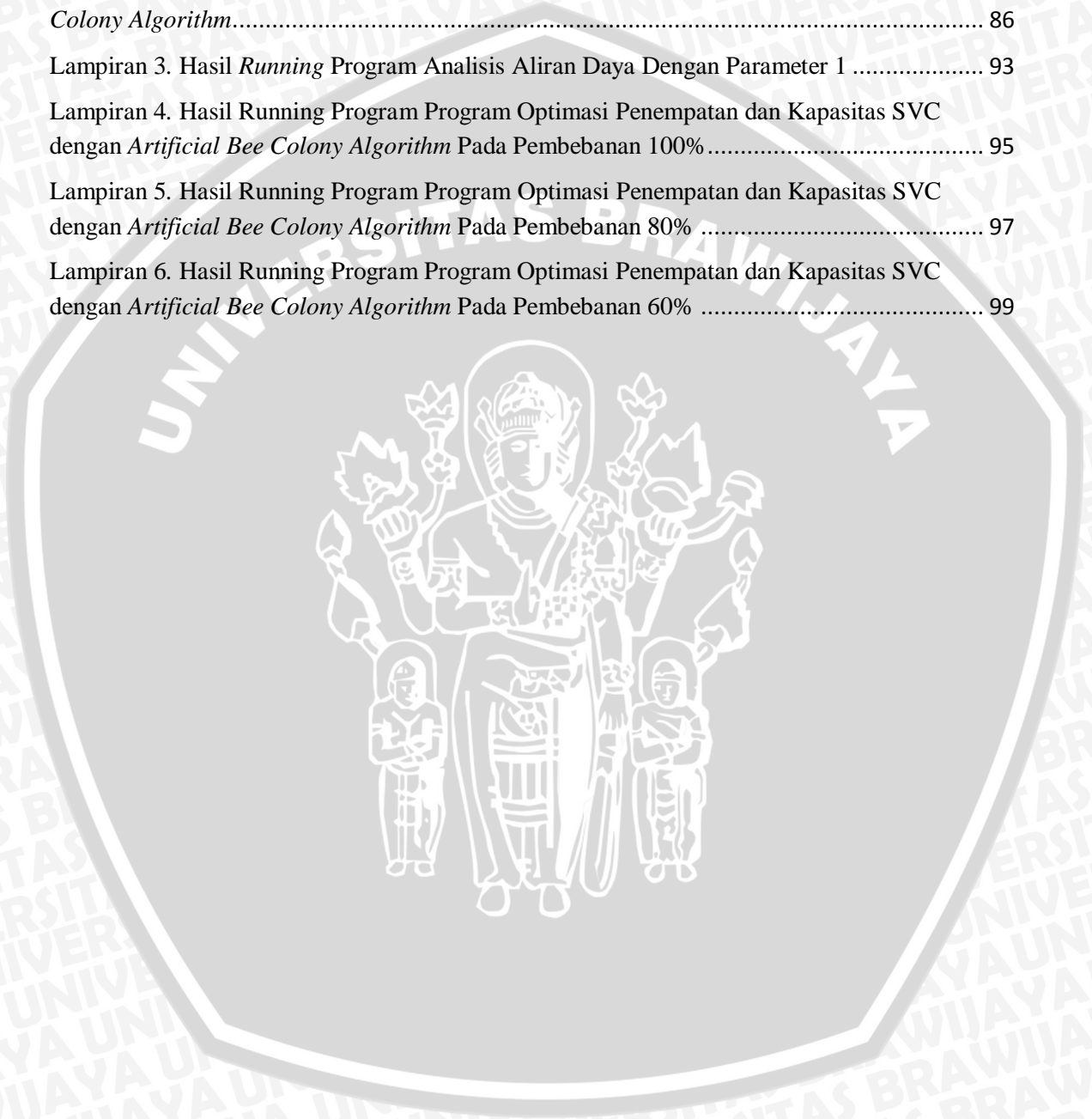
Khairina Noor Astuti

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Representasi Saluran Transmisi	5
2.2 Klasifikasi Saluran Transmisi	6
2.3 Diagram Pengganti Saluran Transmisi	6
2.3.1 Saluran Pendek	6
2.3.2 Saluran Menengah	7
2.3.3 Saluran Panjang	8
2.4 Analisis Aliran Daya.....	10
2.5 Solusi Aliran Daya dengan Metode Newton Raphson.....	11
2.6 Daya Reaktif dan Pengaturan Tegangan	17
2.7 Sistem Kontroler dengan <i>Flexible AC Transmission</i>	19
2.7.1 <i>Static VAR Compensator (SVC)</i>	20
2.8 Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali	22
2.9 Metode Optimasi	23
2.9.1 Perilaku Lebah.....	23
2.9.2 <i>Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm</i>	26

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Studi Literatur	31
3.2 Pengambilan Data.....	31
3.3 Analisis Aliran Daya.....	31
3.4 Penerapan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> untuk Pemasangan SVC	31
3.4.1 Penerapan <i>ABC Algorithm</i>	32
3.4.2 Batasan Untuk Penyelesaian Permasalahan Optimasi.....	32
3.5 Analisis Hasil Simulasi	32
3.6 Penutup	33
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Sistem Per Unit.....	35
4.1.1 Data <i>Bus</i> sistem Jawa Bali 500 kV	35
4.1.2 Data Saluran	37
4.1.3 Data Pembebanan	37
4.1.4 Data Pembangkitan	38
4.2 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV	39
4.2.2 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 100%	39
4.2.3 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 80%	42
4.2.4 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 60%	44
4.4 Optimasi Penempatan SVC.....	46
4.4.1 Hasil <i>Running Load Flow Artificial Bee Colony</i> Dengan Parameter 1	47
4.4.2 Hasil <i>Running Load Flow Artificial Bee Colony</i> Dengan Parameter 2	47
4.4.3 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 100%	47
4.4.4 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 80%	52
4.4.4 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 60%	56
4.5 Data Validasi	61
4.5.1 Data <i>Bus</i> IEEE-30 <i>Bus</i>	61
4.5.2 Data Saluran	62
4.5.3 Data Pembebanan	63
4.5.4 Data Pembangkitan	64
4.6 Analisis Aliran Daya Sistem Standar IEEE 30 <i>Bus</i>	65
BAB V PENUTUP.....	74
5.1 Kesimpulan	74

5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN.....		78
Lampiran 1.	<i>Listing</i> Program Analisis Aliran Daya Sebelum Penempatan SVC	78
Lampiran 2.	<i>Listing</i> Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i>	86
Lampiran 3.	Hasil <i>Running</i> Program Analisis Aliran Daya Dengan Parameter 1	93
Lampiran 4.	Hasil <i>Running</i> Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 100%	95
Lampiran 5.	Hasil <i>Running</i> Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 80%	97
Lampiran 6.	Hasil <i>Running</i> Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 60%	99



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batas Tegangan Sistem Transmisi Jawa – Bali	23
Tabel 3.1. Implementasi Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	32
Tabel 4.1. Data Saluran Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV	37
Tabel 4.2. Data Pembebanan Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV	38
Tabel 4.3. Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV	38
Tabel 4.4. Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 100% Sebelum Pemasangan SVC	39
Tabel 4.5. Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 100%	40
Tabel 4.6. <i>Bus – bus</i> Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 100%	41
Tabel 4.7. Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 80% Sebelum Pemasangan SVC	42
Tabel 4.8. Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 80%	43
Tabel 4.9. <i>Bus – bus</i> Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 80%	44
Tabel 4.10. Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 60% Sebelum Pemasangan SVC	44
Tabel 4.11. Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 60%	45
Tabel 4.12. <i>Bus – bus</i> Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 60%	46
Tabel 4.13. Nilai Parameter 1 <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i>	47
Tabel 4.14. Nilai Parameter 2 <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i>	47
Tabel 4.15. Hasil <i>Running Load Flow</i> Setelah Pemasangan SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Kondisi Pembebanan 100%	47

Tabel 4.16. Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 100% 48

Tabel 4.17. Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pembebanan 100% 49

Tabel 4.18. Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100% 52

Tabel 4.19. Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 80% 52

Tabel 4.20. Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 80% 53

Tabel 4.21. Rugi – rugi Daya pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pada Kondisi Pembebanan 80% 54

Tabel 4.22. Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80% 56

Tabel 4.23. Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 60% 57

Tabel 4.24. Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 60% 58

Tabel 4.25. Rugi – rugi Daya pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pada Kondisi Pembebanan 60% 58

Tabel 4.26. Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60% 61

Tabel 4.27. Perbandingan Kapasitas SVC Pada Masing – Masing Pembebanan..... 61

Tabel 4.28. Data Saluran Sistem Standar IEEE 30 *Bus* 62

Tabel 4.29 Data Pembebanan Sistem Standar IEEE 30 *Bus* 63

Tabel 4.30. Data Pembangkitan Sistem Standar IEEE 30*Bus* 64

Tabel 4.31. Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Standar IEEE-30 *Bus* dengan Metode *Newton – Raphson* Sebelum Pemasangan SVC..... 65

Tabel 4.32. Rugi Daya Aktif dan Reaktif Sebelum Pemasangan SVC 66

Tabel 4.33. *Bus – bus* Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar 67

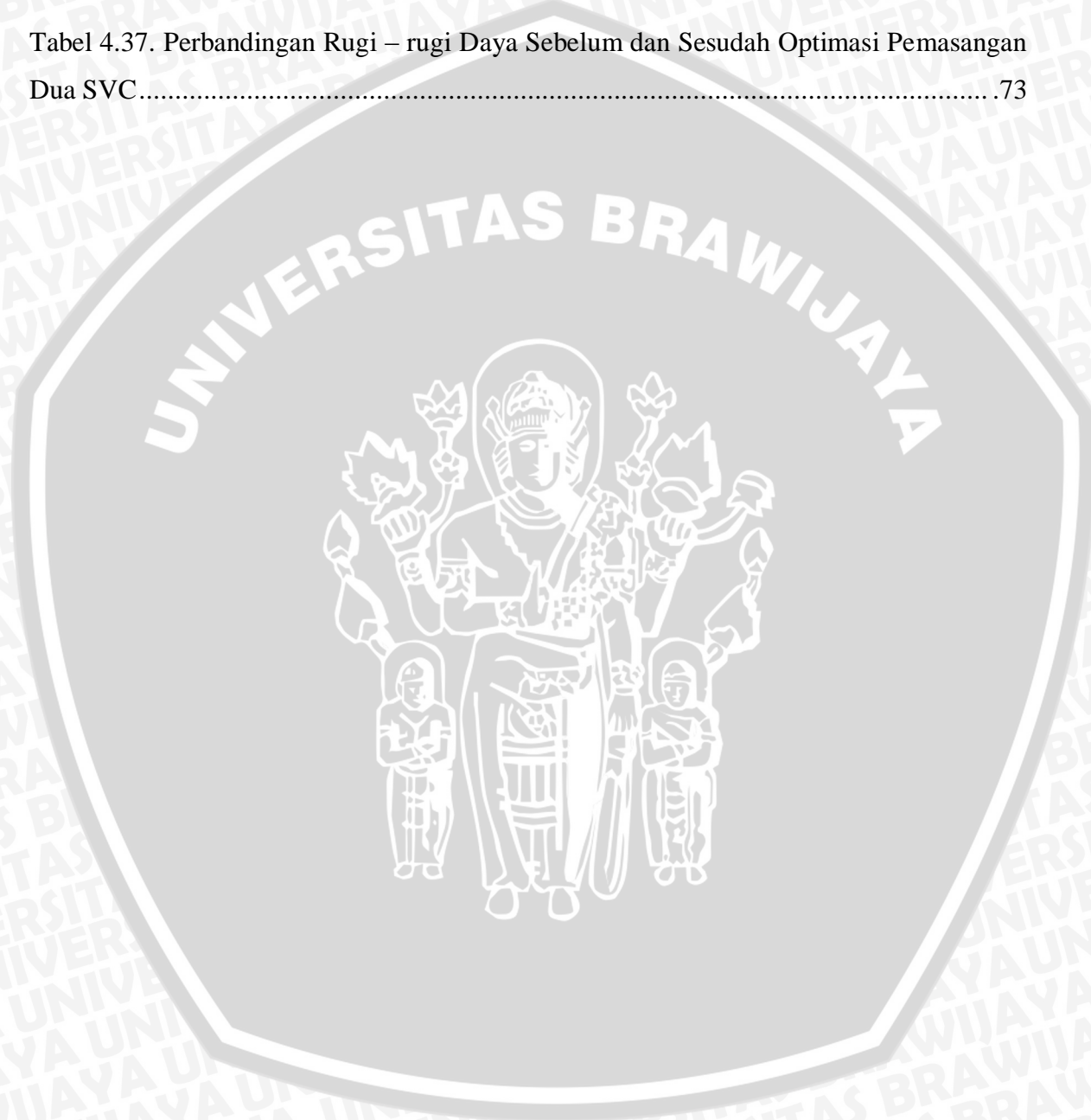


Tabel 4.34. Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan Dua Buah SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm*68

Tabel 4.35. Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Dengan Dua SVC.....69

Tabel 4.36. Rugi Daya Aktif dan Reaktif Sesudah Pemasangan Dua SVC70

Tabel 4.37. Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC.....73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.(a) Saluran Transmisi Tiga Fasa 5

Gambar 2.1.(b) Representasi Saluran Satu Fasa 6

Gambar 2.2. Model Saluran Pendek..... 7

Gambar 2.3. Model Saluran Menengah..... 8

Gambar 2.4. Permodelan Parameter Pada Saluran Panjang 9

Gambar 2.5. Tipe *Bus* pada Sistem Tenaga..... 11

Gambar 2.6. Model Saluran Transmisi untuk Perhitungan Aliran Daya 16

Gambar 2.7. Pemasangan Kapasitor *Shunt* Pada Saluran..... 18

Gambar 2.8. Topologi Dasar SVC 20

Gambar 2.9. Representasi SVC..... 21

Gambar 2.10. Suseptansi *shunt* variabel..... 22

Gambar 2.11. Perilaku Lebah dalam Pencarian Makanan..... 25

Gambar 2.12. *Flowchart* Algoritma ABC 27

Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian 33

Gambar 3.2. *Flowchart* Implementasi ABC *Algorithm* 34

Gambar 4.1. *Single Line Diagram* sistem Jawa – Bali 500 kV 36

Gambar 4.2. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100% .49

Gambar 4.3. Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%.....51

Gambar 4.4. Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100% 51

Gambar 4.5. Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Optimasi SVC Pada Pembebanan 80% 54

Gambar 4.6. Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80% .55

Gambar 4.7Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80% .56



Gambar 4.8. Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Optimasi SVC Pada Pembebanan 60% 58.

Gambar 4.9. Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60% .60

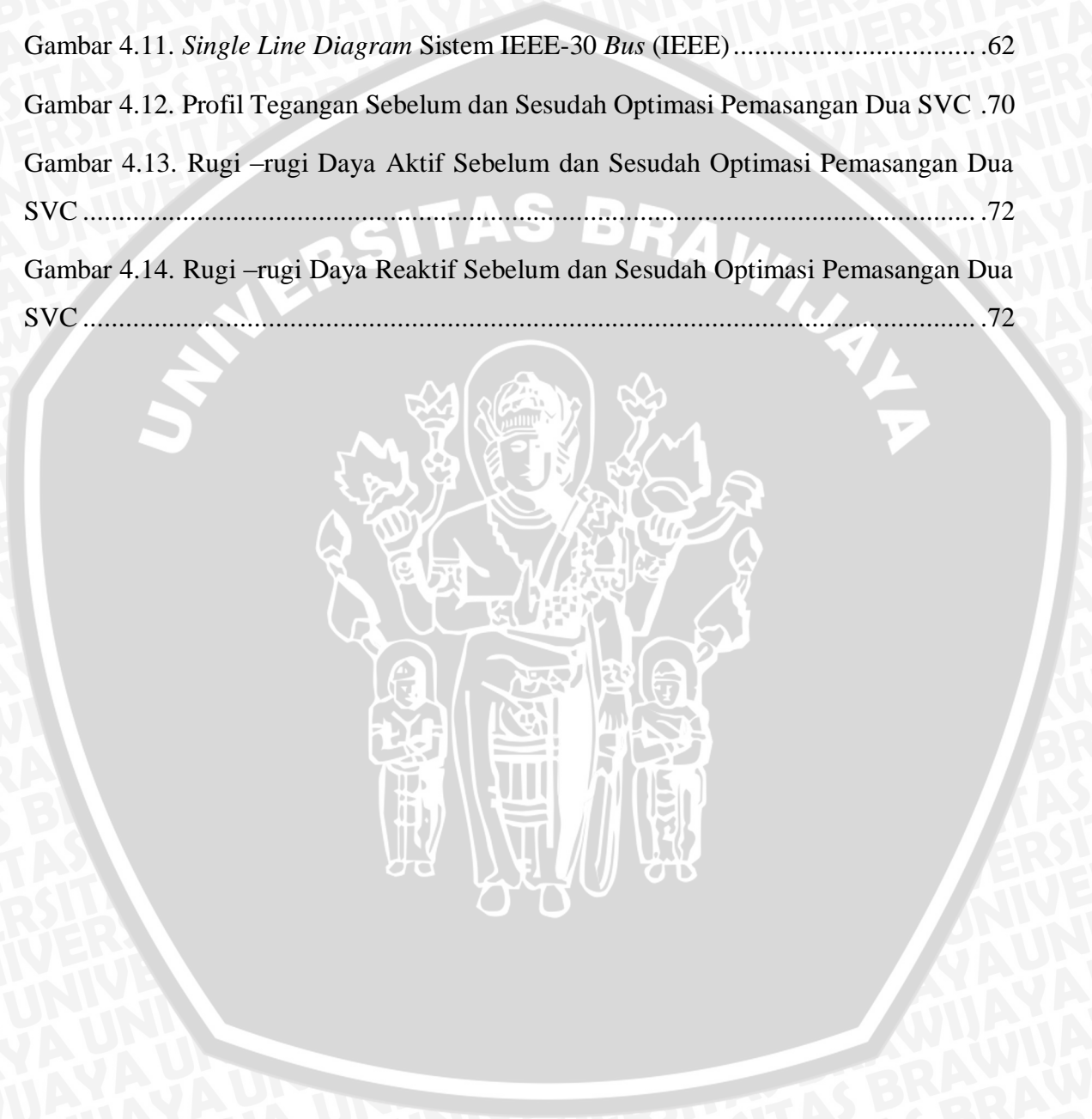
Gambar 4.10. Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Optimasi SVC Pada Pembebanan 60%..... .60

Gambar 4.11. *Single Line Diagram* Sistem IEEE-30 Bus (IEEE)..... .62

Gambar 4.12. Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC .70

Gambar 4.13. Rugi –rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC72

Gambar 4.14. Rugi –rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC72



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Listing</i> Program Aliran Daya Sebelum Penempatan SVC.....	78
Lampiran 2. <i>Listing</i> Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC Dengan Menggunakan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i>	85
Lampiran 3. Hasil <i>Running</i> Program Analisis Aliran Daya Dengan Parameter 1	93
Lampiran 4. Hasil <i>Running</i> Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 100%	95
Lampiran 5. Hasil <i>Running</i> Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 80%	97
Lampiran 6. Hasil <i>Running</i> Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan <i>Artificial Bee Colony Algorithm</i> Pada Pembebanan 60%	99



ABSTRAK

KHAIRINA NOOR ASTUTI, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2014, **Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC Dengan Metode *Artificial Bee Colony Algorithm***, Dosen Pembimbing: Hadi Suyono, S.T., MT., Ph.D. dan Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc.

Listrik merupakan suatu kebutuhan mutlak yang harus dipenuhi untuk menjamin keberlangsungan hidup masyarakat masa kini. Seiring pertumbuhan beban listrik, pemenuhan daya yang kurang menunjang mengakibatkan kualitas daya yang dihasilkan tidak sesuai dengan harapan diakibatkan rugi – rugi pada sistem transmisi. Kualitas daya yang buruk akan berimbas pada kualitas tegangan pada sisi beban. Injeksi daya reaktif menjadi salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Perkembangan *power electronic* pada masa kini, diciptakanlah perangkat *FACTS (Flexible AC Transmission System)* yang berfungsi untuk mengoperasikan dan mengendalikan sistem jaringan transmisi secara efisien. *Static VAR Compensator (SVC)* adalah salah satu jenis perangkat *FACTS* yang tidak hanya mampu menginjeksikan daya reaktif namun juga dapat menyerap kembali daya reaktif tersebut untuk mengatasi lonjakan tegangan akibat beban ringan.

Artificial bee colony algorithm merupakan salah satu jenis metode optimasi berbasis kecerdasan lebah buatan dalam pencarian makanan yang digunakan pada skripsi ini. Dengan metode tersebut, akan dapat diperoleh hasil posisi serta kapasitas paling optimum dari SVC dengan lebih mudah dan cepat dibanding menggunakan metode deterministik konvensional.

Pengujian pada skripsi ini diaplikasikan untuk sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV dengan tiga macam kondisi pembebanan, yaitu 100%, 80%, dan 60%. Simulasi menggunakan SVC dengan kapasitas 0-300 MVAR. Pada percobaan pertama mampu menurunkan rugi daya baik aktif maupun reaktif sebesar 11,87% dan 12,14%, 8,92% dan 9,14% pada percobaan kedua, serta 7,39% dan 7,68% pada percobaan ketiga. Pemasangan SVC juga mampu memperbaiki level tegangan kritis hingga berada pada *range* tegangan standar yang diijinkan.

Kata Kunci – *artificial bee colony algorithm*, rugi daya, SVC, tegangan



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

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. Hal tersebut menjadi suatu tantangan bagi operasi sistem tenaga listrik karena peningkatan jumlah beban tidak sebanding dengan perluasan sistem pembangkit tenaga listrik. Pembangunan saluran transmisi untuk menunjang keberlangsungan pengiriman daya listrik dibatasi oleh kondisi wilayah yang terbatas, biaya yang sangat besar, serta waktu yang sangat lama.

Masalah lain yang harus dihadapi 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. Rugi-rugi daya merupakan hal yang harus dihindari karena sangat merugikan, sehingga kehadirannya harus diminimalisasi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan cara kompensasi daya reaktif yang mampu menstabilkan level tegangan serta mengurangi rugi-rugi daya.

Pada mulanya, perbaikan kinerja saluran transmisi dapat dilakukan dengan pemasangan kompensasi reaktif menggunakan kapasitor. Mengingat besarnya kapasitas kapasitor tidak bisa diatur secara dinamis, maka dikembangkanlah suatu alat pengoperasian sistem jaringan transmisi yang dapat dikendalikan sehingga lebih efisien dalam pemanfaatannya. Hal ini dapat dicapai seiring semakin berkembangnya aplikasi di bidang elektronika daya, terutama pada teknologi semikonduktor. Teknologi terbaru untuk mencapai peningkatan pesat pada transmisi daya elektrik tersebut dikenal dengan sebutan FACTS (*Flexible AC Transmission System*) yang pertama kali dikembangkan oleh *Electric Power Research Institute (EPRI)* di Palo Alto negara bagian California, Amerika Serikat. Pada awal pengembangannya, teknologi ini ditujukan untuk menyelesaikan permasalahan dalam peningkatan kapasitas pengaliran daya listrik pada sistem jaringan transmisi daya listrik.

FACTS dapat didefinisikan sebagai suatu perangkat elektronika daya yang menyediakan kontrol baik satu maupun lebih parameter sistem transmisi untuk

meningkatkan kemampuan pengendalian dan kemampuan transfer daya. FACTS dapat diklasifikasikan berdasarkan tipe impedansi variabel dan *voltage source converter* (VSC).

Static VAR Compensator (SVC) adalah salah satu jenis perangkat FACTS tipe impedansi variabel yang mudah diimplementasikan pada jaringan transmisi listrik untuk mendapatkan hasil aliran daya yang lebih baik. Pada dasarnya SVC digunakan untuk mengatur tegangan *bus* dengan cara menginjeksikan daya reaktif yang dapat dikontrol melalui sudut penyalaan *thyristor*. Pemasangan SVC ini dapat dilakukan pada satu atau beberapa titik untuk mencapai nilai tegangan dan rugi daya paling optimum yang diharapkan.

Penentuan letak pemasangan SVC dan kapasitas yang optimal untuk dialokasikan pada sistem transmisi daya listrik menjadi suatu permasalahan yang sering terjadi. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dibutuhkan suatu metode algoritma untuk menentukan letak dan kapasitas SVC sehingga diperoleh harga yang optimum.

Terdapat dua metode optimasi yaitu metode deterministik seperti *dynamic programming*, *simplex*, dan *linear programming* serta metode *undeterministik* seperti *ant colony algorithm*, *simulated annealing*, *genetic algorithm*, serta *artificial bee colony*.

Algoritma *artificial bee colony* merupakan suatu algoritma yang dikenalkan oleh Karaboga pada tahun 2005 sebagai suatu teknik masalah optimasi numerik. Algoritma ini dibuat berdasarkan teknik *metaheuristic* untuk mendapatkan hasil optimal dari suatu permasalahan yang telah diterapkan pada algoritma pendahulunya, seperti *ant colony algorithm*, *particle swarm optimization*, *harmony search*, dan lain sebagainya. Metode ini dikembangkan berdasarkan perilaku kecerdasan lebah madu dalam suatu koloninya dan performasinya yang dijadikan tolak ukur untuk menghitung nilai suatu fungsi optimasi.

Keuntungan utama dari algoritma ini dibanding algoritma lainnya adalah:

1. *Simplicity, flexibility, robustness* (Singh, 2009).
2. Menggunakan parameter kontrol yang lebih sedikit dibandingkan teknik lainnya (Karaboga dan B. Akay, 2009).
3. Mudah dihibridisasi dengan algoritma optimisasi lainnya (Singh, 2009).
4. Mudah diimplementasikan dengan matematika dasar dan operasi logika. (Bolaji, 2013).

Berdasarkan hal ini penulis mencoba menerapkan metode *artificial bee colony algorithm* yang dapat menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi penempatan SVC pada sistem tenaga listrik dengan lebih efisien.

1.2 Rumusan masalah

Sehubungan dengan hal – hal yang dikemukakan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam skripsi ini sebagai berikut:

1. Mengetahui di mana peletakan optimum *Static VAR Compensator* (SVC) agar dapat memperbaiki level tegangan serta menghasilkan rugi daya paling kecil menggunakan *artificial bee colony algorithm*.
2. Mengetahui berapa kapasitas optimum yang dibutuhkan *Static VAR Compensator* (SVC) agar dapat memperbaiki level tegangan serta menghasilkan rugi daya paling kecil menggunakan *artificial bee colony algorithm*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah dapat menentukan lokasi penempatan dan kapasitas SVC paling optimum untuk memperbaiki level tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya reaktif pada sistem transmisi dengan menggunakan metode *artificial bee colony*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penulisan skripsi ini ialah:

1. Hasil penulisan skripsi berupa simulasi dan analisis.
2. Analisis dilakukan pada sistem transmisi. Pada skripsi ini menggunakan data Jawa – Bali 500 kV tahun 2013. Analisis dilakukan pada kondisi pembebanan 100%, 80%, dan 60%.
3. Analisis aliran daya menggunakan metode perhitungan Newton-Raphson.
4. Metode optimasi untuk penulisan skripsi ini menggunakan *undetermination solution* berupa *artificial bee colony*.
5. Menggunakan data sistem standar IEEE 30 Bus sebagai validasi.
6. Tidak membahas mengenai desain dari SVC yang digunakan.
7. Faktor biaya dan desain SVC tidak diperhitungkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan skripsi disusun dalam suatu sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan mengenai pelaksanaan penulisan dilakukan berdasarkan latar belakang yang terjadi. Dari latar belakang tersebut didapatkan tujuan yang

akan dicapai. Selain itu terdapat batasan-batasan masalah serta metodologi penulisan. Bagian pendahuluan diakhiri dengan sistematika penulisan yang menggambarkan kerangka pikir penulis dalam mengerjakan skripsi ini.

BAB II STUDI LITERATUR

Penulisan skripsi ini dikerjakan berdasarkan teori-teori yang berlaku dan telah teruji secara akademis. Oleh karena itu pada bagian kedua skripsi berisi mengenai konsep-konsep yang digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan permasalahan. Konsep – konsep yang digunakan di antaranya mengenai kompensasi beban dan rugi – rugi, kompensasi daya reaktif menggunakan salah satu jenis *FACTS devices* yakni *Static VAR Compensator (SVC)*, serta metode *genetic algorithm* sebagai *undetermination solution*.

BAB III METODE PENELITIAN

Memberikan penjelasan tentang metode yang digunakan dalam skripsi ini, meliputi metode pengambilan data, perancangan program, simulasi, dan analisis hasil.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang analisis dan data simulasi hasil percobaan yang telah dilaksanakan.

BAB V PENUTUP

Dalam bab ini mengemukakan kesimpulan dan saran sehubungan dengan penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

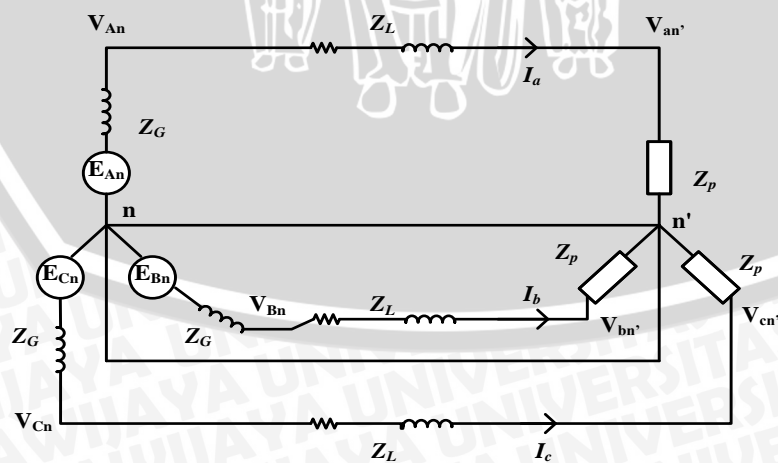
2.1 Representasi Saluran Transmisi

Pada dasarnya tujuan jaringan transmisi adalah untuk mengirimkan energi elektrik dari unit pembangkit pada beberapa lokasi menuju sistem distribusi yang terhubung ke beban. Sepanjang saluran transmisi pada sistem tenaga terdapat komponen elektrik seperti resistansi, induktansi, kapasitansi, serta konduktansi.

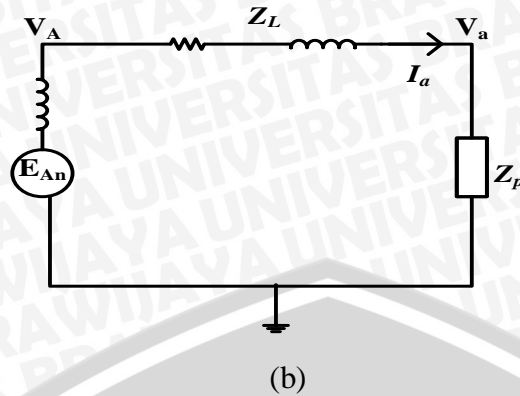
Di dalam saluran transmisi tegangan menjadi sebuah permasalahan yang utama. Sehingga dalam perancangan maupun operasi nilai tegangan perlu diperhatikan pada tiap titik dalam saluran. Besar perubahan tegangan yang diperbolehkan berkisar -10% sampai dengan +5%.

Pada umumnya sistem transmisi menggunakan tiga fasa seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

Dalam Gambar 2.1 (a) ditunjukkan saluran tiga fasa dengan kawat netral n . Dalam keadaan tegangan dan arus yang simetris tidak ada arus yang mengalir pada kawat netral $n - n'$. Karena ketiga fasanya simetris, artinya ketiga fasanya tergeser -120° dan 120° terhadap fasa referensi, maka analisa cukup dilakukan pada satu fasa saja seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b). Semisal dipilih fasa a sebagai referensi, maka besaran – besaran untuk fasa b dan c diperoleh dengan memutar besaran fasa a dengan sudut -120° dan $+120^\circ$ (Hutauruk, 1994: 54).



(a)



Gambar 2.1 (Hutauruk, 1994: 54)

- a. Saluran transmisi tiga fasa
- b. Representasi saluran satu fasa

2.2 Klasifikasi Saluran Transmisi

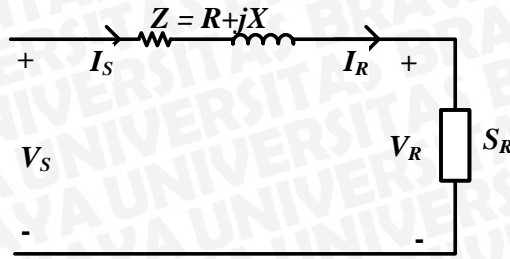
Saluran transmisi mempunyai tiga parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga yaitu resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Untuk memudahkan keperluan analisa dan perhitungan, sistem transmisi diklasifikasikan menjadi 3 kelas berdasarkan ukuran panjangnya, yaitu (Stevenson, 2000: 43):

- a. Saluran dengan panjang kurang dari 80 km (50 mil) dikategorikan sebagai saluran pendek.
- b. Saluran dengan panjang antara 80 km (50 mil) dan 240 km (150 mil) dikategorikan sebagai saluran menengah.
- c. Saluran yang lebih panjang dari 240 km (150 mil) dikategorikan sebagai saluran panjang.

2.3 Diagram Pengganti Saluran Transmisi

2.3.1 Saluran Pendek

Pada sistem transmisi saluran pendek, di dalam diagram pengantinya yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 nilai kapasitansi saluran diabaikan sehingga hanya memperhitungkan nilai R dan L di sepanjang saluran.



Gambar 2.2: Model Saluran Pendek (Saadat, 1999:143)

Relasi tegangan dan arusnya adalah (Saadat, 1999:143):

$$I_S = I_R \tag{2.1}$$

$$V_S = V_R + Z I_R \tag{2.2}$$

di mana $Z = R + jX$

$$I_R = \frac{S^*_{R(3\phi)}}{3V^*_R} \tag{2.3}$$

dengan $S_{R(3\phi)}$ = beban tiga fasa

I_S = arus pada ujung pengirim

I_R = arus pada ujung penerima

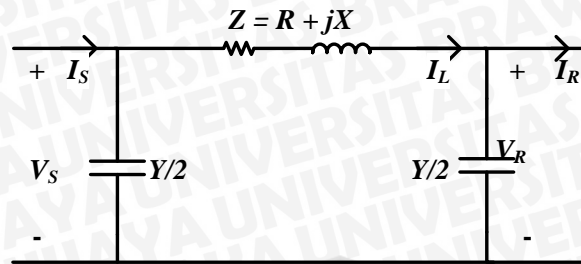
V_S = tegangan pada ujung pengirim

V_R = tegangan pada ujung penerima

Z = impedansi seri saluran

2.3.2 Saluran Menengah

Pada saluran menengah admittansi *shunt* biasanya merupakan kapasitansi murni yang dapat dibagi dua sama besar yang ditempatkan masing – masing pada ujung pengirim dan penerima dua titik (nominal PI) Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Model Saluran Menengah (Saadat, 1999: 148)

Nilai Z adalah total dari penjumlahan resistansi dan induktansi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan nilai Y adalah total admitansi saluran:

$$Y = (g + j\omega C)l \tag{2.4}$$

Pada kondisi normal, konduktansi *shunt* per satuan unit, yang merepresentasikan kebocoran arus isolasi dan efek korona, diabaikan dan g diasumsikan bernilai nol, sementara C adalah kapasitansi netral per km, dan l adalah panjang saluran.

Relasi tegangan dan arusnya (Saadat, 1999:148):

$$I_L = I_R + \frac{Y}{2} V_R \tag{2.5}$$

$$V_S = V_R + Z I_L \tag{2.6}$$

$$I_S = I_L + \frac{Y}{2} V_S \tag{2.7}$$

dengan I_L = arus pada impedansi seri

V_S = tegangan pada ujung pengirim

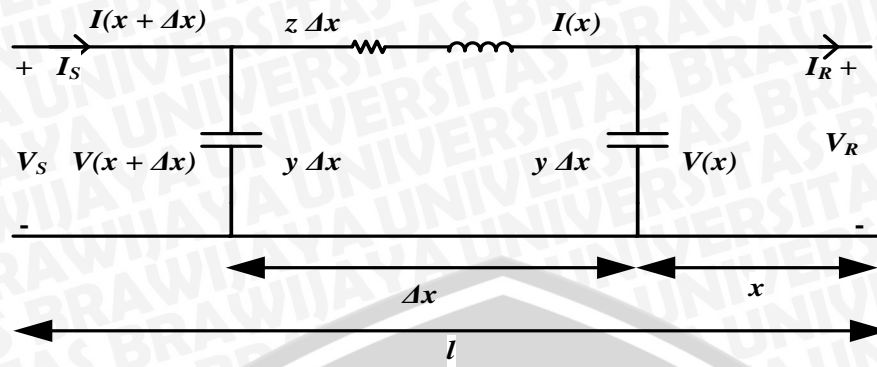
V_R = tegangan pada ujung penerima

Z = impedansi seri saluran

2.3.3 Saluran Panjang

Dasar perhitungan untuk suatu saluran panjang diperoleh dengan menggunakan model rangkaian ekuivalen π . Pada Gambar 2.4 di bawah menunjukkan saluran transmisi dalam bentuk satu fasa dengan panjang l km.





Gambar 2.4: Permodelan Parameter Pada Saluran Panjang (Saadat, 1999:152)

Panjang impedansi per unit ditunjukkan dengan menggunakan huruf z dan admitansi *shunt* per fasa ditunjukkan dengan huruf y , di mana $z = r + j\omega L$ dan $y = g + j\omega C$. Semisal bagian kecil dari panjang x dilambangkan Δx . Fasor tegangan dan arus pada kedua sisi ditunjukkan dalam fungsi jarak (Saadat, 1999:152):

$$V(x + \Delta x) = V(x) + z\Delta x I(x) \quad (2.8)$$

atau

$$\frac{V(x + \Delta x) - V(x)}{\Delta x} = zI(x) \quad (2.9)$$

Sehingga didapatkan persamaan turunan:

$$\frac{dV(x)}{dx} = zI(x) \quad (2.10)$$

Dengan mengaplikasikan persamaan di atas, didapatkan persamaan untuk arus adalah:

$$\frac{dI(x)}{dx} = yV(x) \quad (2.11)$$

Mendiferensiasikan persamaan turunan tegangan pada persamaan 2.10, maka:

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = z \frac{dI(x)}{dx} \quad (2.12)$$

$$= zyV(x)$$

Anggap $\gamma^2 = zy$, maka

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} - \gamma^2 V(x) = 0 \quad (2.13)$$

Solusi dari persamaan 2.13 di atas menjadi,

$$V(x) = A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x} \quad (2.14)$$

dengan A_1 dan A_2 adalah konstanta. Dan persamaan untuk arus menjadi:

$$\begin{aligned} I(x) &= \frac{1}{z} \frac{dV(x)}{dx} = \frac{\gamma}{z} (A_1 e^{\gamma x} - A_2 e^{-\gamma x}) \\ &= \sqrt{\frac{\gamma}{z}} (A_1 e^{\gamma x} - A_2 e^{-\gamma x}) \end{aligned} \quad (2.15)$$

2.4 Analisis Aliran Daya

Pada penyelesaian permasalahan aliran daya, sistem diasumsikan beroperasi pada kondisi di bawah keseimbangan sehingga digunakan model *single – phase*. Terdapat empat persyaratan yang dibutuhkan pada masing-masing *bus*, yaitu *magnitude* tegangan ($|V|$), sudut fasa (δ), daya nyata (P), dan daya reaktif (Q). Jenis *bus* pada umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu (Saadat, 1999:208):

- Slack bus*: salah satu *bus*, disebut *slack* atau *swing bus*, dianggap sebagai referensi ketika *magnitude* dan sudut fasa tegangan diketahui. *Bus* ini memperbaiki perbedaan antara beban dan sumber pembangkitan yang disebabkan oleh rugi-rugi pada jaringan.
- Load bus*: pada *bus* ini daya aktif dan daya reaktif diketahui. *Magnitude* dan sudut fasa tegangan tidak diketahui. *Bus* ini disebut juga P-Q *bus*.
- Regulated bus*: *bus* ini disebut juga *bus* generator atau *voltaged – controlled buses*. Pada *bus* ini, daya nyata dan *magnitude* tegangan diketahui. Sudut fasa tegangan dan daya reaktif tidak diketahui. *Bus* ini dikenal sebagai P-V *bus*.

Dengan mempresentasikan saluran transmisi model PI seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5, di mana impedansi sudah dikonversikan ke admitansi per unit, maka hasil persamaan untuk *bus* ialah (Saadat, 1999:208):

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \quad (2.16)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \quad (2.17)$$

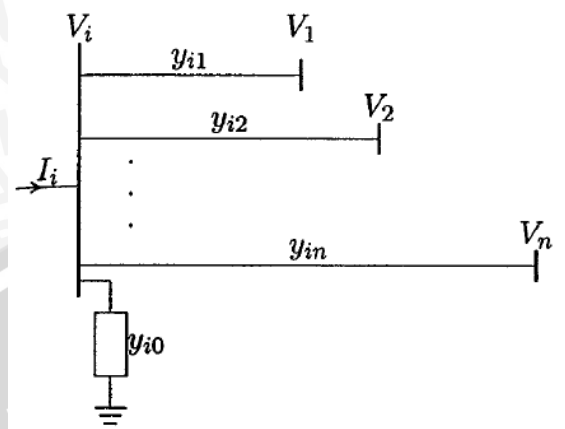
atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.18)$$

dengan I_i = arus yang masuk ke *bus* i

V_i = tegangan pada bus i

y_{ij} = admitansi antara saluran i dan j



Gambar 2.5: Tipe Bus pada Sistem Tenaga (Saadat, 1999:209)

Sementara persamaan untuk daya nyata dan daya reaktif pada bus i adalah:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \tag{2.19}$$

atau

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} \tag{2.20}$$

Dengan mensubstitusi persamaan di atas maka:

$$\frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \tag{2.21}$$

di mana P_i = daya nyata pada bus i

Q_i = daya reaktif pada bus i

Dari hubungan persamaan di atas, formulasi matematis pada masalah aliran daya menghasilkan sistem persamaan aljabar nonlinier yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi.

2.5 Solusi Aliran Daya dengan Metode Newton – Raphson

Metode penyelesaian persamaan aljabar nonlinier simultan yang paling sering digunakan adalah metode Newton – Raphson. Metode ini menggunakan prosedur yang paling hampir mendekati hasil sesungguhnya berdasar dengan nilai perkiraan awal.

Persamaan aljabar dalam bentuk matriks diberikan di bawah ini:



$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \vdots \\ f_N(x) \end{bmatrix} = y$$

di mana y dan x adalah vektor N dan $f(x)$ adalah fungsi vektor N . Jika diberikan nilai y dan $f(x)$ dan ingin didapatkan nilai x , maka dibutuhkan suatu metode iterasi seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$0 = y - f(x) \tag{2.22}$$

Dengan menambahkan Dx pada kedua sisi, di mana D adalah perkalian matrik $N \times N$,

$$Dx = Dx + y - f(x) \tag{2.23}$$

Kemudian persamaan di atas dikalikan kembali dengan D^{-1} , sehingga

$$x = x + D^{-1}[y - f(x)] \tag{2.24}$$

Nilai lama dianggap $x(i)$ digunakan pada sisi kanan untuk menghasilkan nilai baru $x(i+1)$,

$$x(i + 1) = x(i) + D^{-1} \{y - f|x(i)|\} \tag{2.25}$$

Untuk persamaan linier, $f(x) = Ax$, maka

$$x(i + 1) = x(i) + D^{-1} \{y - Ax(i)\} = D^{-1}(D - A)x(i) + D^{-1}y \tag{2.26}$$

Untuk persamaan nonlinier, nilai matriks D harus diketahui. Metode yang digunakan untuk mendapatkan nilai D adalah Newton – Raphson yang didasarkan pada deret Taylor.

$$y = f(x_0) + \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} (x - x_0) \dots \tag{2.27}$$

Dengan mengabaikan pangkat yang lebih tinggi dari persamaan di atas, maka untuk menyelesaikan nilai x :

$$x = x_0 + \left[\left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0} \right]^{-1} [y - f(x_0)] \tag{2.28}$$



Metode Newton – Raphson mengganti nilai x_0 yang menggunakan nilai lama dengan $x(i)$ dan x menjadi nilai baru $x(i+1)$, sehingga

$$x(i + 1) = x_i + J^{-1}(i)\{y - f[x(i)]\} \quad (2.29)$$

di mana

$$J(i) = \frac{df}{dx} \Big|_{x=x(i)} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_N} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial x_1} & \frac{\partial f_N}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial x_N} \end{bmatrix}_{x=x(i)} \quad (2.30)$$

Untuk sistem daya yang besar, metode Newton – Raphson dinilai lebih efisien dan praktis. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh suatu solusi tidak tergantung pada ukuran suatu sistem. Pada suatu sistem tenaga, arus yang memasuki bus dapat ditulis ulang dalam bentuk matriks admitansi seperti persamaan berikut (Saadat, 1999:232):

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.31)$$

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.32)$$

Daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.32)$$

Substitusi dari dua persamaan di atas:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.33)$$

Dengan memisahkan bagian *real* dan imajiner, maka:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.34)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.35)$$

di mana 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

Dengan menjabarkan kedua persamaan di atas menggunakan deret Taylor, maka persamaan linear dalam bentuk matriksnya adalah:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^k \\ \vdots \\ \Delta P_n^k \\ \Delta Q_2^k \\ \vdots \\ \Delta Q_n^k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2(k)}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2(k)}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2(k)}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2(k)}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n(k)}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n(k)}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n(k)}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n(k)}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2(k)}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2(k)}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2(k)}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2(k)}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n(k)}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n(k)}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n(k)}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n(k)}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^k \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^k \\ \Delta |V_2^k| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^k| \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Pada persamaan di atas, bus 1 dianggap sebagai *slack bus*. Matriks Jacobian memberikan hubungan antara perubahan kecil pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^k$ dan *magnitude* tegangan $\Delta |V_i^k|$ dengan perubahan kecil pada daya aktif dan reaktif ΔP_i^k dan ΔQ_i^k .

Dalam bentuk yang lebih singkat, matriks di atas dapat ditulis sebagai:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Elemen J_1 adalah:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.38)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.39)$$

Elemen J_2 adalah:



$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.40)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.41)$$

Elemen J_3 adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.42)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.43)$$

Elemen J_4 adalah:

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \sin (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.44)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}| \sin (\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.45)$$

ΔP^k_i dan ΔQ^k_i adalah selisih antara nilai yang diharapkan dan nilai sebenarnya atau dikenal sebagai daya residu, dirumuskan dengan:

$$\Delta P^k_i = P^{sch}_i - P^k_i \quad (2.46)$$

$$\Delta Q^k_i = Q^{sch}_i - Q^k_i \quad (2.47)$$

Perkiraan nilai baru untuk tegangan *bus* adalah:

$$\delta^{(k+1)}_i = \delta^k_i + \Delta \delta^k_i \quad (2.48)$$

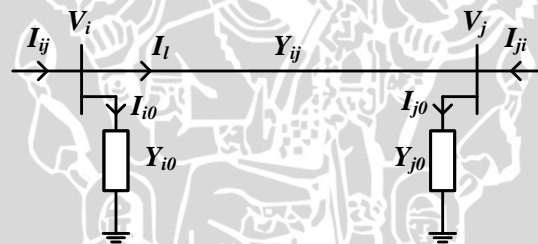
$$|V^{(k+1)}_i| = |V^k_i| + |\Delta V^k_i| \quad (2.49)$$

Prosedur penyelesaian masalah dengan menggunakan metode Newton - Rapshon adalah sebagai berikut (Saadat, 1990:235):

1. Pada *bus - bus* beban, di mana P^{sch}_i dan Q^{sch}_i sudah diketahui, *magnitude* tegangan dan sudut fasa diatur sama seperti nilai *slack bus*, atau 1.0 dan 0.0, contoh, $|V^0_i| = 1.0$ dan $\delta^0_i = 0.0$. Untuk *bus* PV di mana nilai $|V_i|$ dan P^{sch}_i diketahui, sudut fasa diatur sama seperti nilai *slack bus* atau 0, contoh, $\delta^0_i = 0.0$.

2. Untuk bus – bus beban nilai $P^{(k)}_i$ dan $Q^{(k)}_i$ serta $\Delta P^{(k)}_i$ dan $\Delta Q^{(k)}_i$ dihitung menggunakan rumus 2.34, 2.35, 2.46, dan 2.47 secara berturut – turut.
3. Untuk bus – bus PV, nilai $P^{(k)}_i$ dan $\Delta P^{(k)}_i$ dihitung dengan rumus 2.34 dan 2.46 secara berturut – turut.
4. Elemen matriks Jacobian (J_1, J_2, J_3, J_4) dihitung dengan menggunakan rumus 2.38 sampai 2.45.
5. Nilai tegangan dan sudut fasa yang baru di dapatkan dengan rumus 2.48 dan 2.49 secara berturut – turut.
6. Proses akan terus dikerjakan hingga nilai residu atau selisih $\Delta P^{(k)}_i$ dan $\Delta Q^{(k)}_i$ kurang dari nilai keakuratan spesifik ϵ .

Setelah hasil iterasi aliran daya di atas selesai dikerjakan, langkah selanjutnya adalah perhitungan rugi – rugi saluran. Anggap bahwa arus yang mengalir pada hubungan saluran dua bus i dan j pada Gambar 2.6 dibawah adalah I_{ij} .



Gambar 2.6: Model Saluran Transmisi untuk Perhitungan Aliran Daya (Saadat, 1999:212)

Jika arus mengalir dari i ke j , maka:

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (2.50)$$

Maka apabila arus mengalir sebaliknya, I_{ji} , dianggap positif, maka:

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (2.51)$$

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

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.52)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2.53)$$

Rugi daya pada saluran i ke j adalah hasil dari penjumlahan aljabar dari persamaan 2.52 dan 2.53:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.54)$$

di mana:

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

2.6 Daya Reaktif dan Pengaturan Tegangan

Jatuh tegangan merupakan penurunan tegangan dari sistem pembangkit sampai sepanjang saluran jaringan tegangan menengah. Fenomena tersebut disebabkan kawat saluran mempunyai nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi. Sedangkan rugi daya adalah selisih antara daya yang dibangkitkan dengan daya yang diterima oleh pelanggan listrik. Rugi-rugi daya merupakan hal yang harus dihindari karena sangat merugikan, sehingga kehadirannya harus diminimalisasi.

Untuk operasi sistem daya yang efisien dan handal, pengaturan tegangan dan daya reaktif harus memenuhi syarat sebagai berikut (Kundur, 1994:627):

1. Tegangan terminal pada seluruh peralatan dalam sistem berada pada batas yang diijinkan.
2. Kestabilan sistem dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan pemanfaatan sistem transmisi. Pengaturan tegangan dan daya reaktif memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan sistem.
3. Daya reaktif yang diminimalisasi turut mengurangi rugi I^2R dan I^2X hingga nilai minimum sehingga menjamin keefisienan operasi dalam sistem.

Masalah dalam menjaga tegangan agar tetap berada pada batas yang diijinkan menjadi rumit seiring semakin bertambahnya beban. Semakin banyak beban, semakin banyak pula daya reaktif yang dibutuhkan. Karena daya reaktif tidak dapat ditransmisikan pada jarak yang jauh, pengaturan tegangan dapat menjadi lebih efektif dengan menggunakan perangkat khusus yang dipasang pada sistem.

Kinerja saluran transmisi, khususnya untuk model menengah dan panjang, dapat diperbaiki dengan menggunakan kompensasi reaktif, baik tipe seri maupun paralel. Kompensasi ini menyediakan jenis kompensasi pasif. Mereka secara permanen terhubung pada sistem transmisi dan sistem distribusi dan berkontribusi untuk mengatur tegangan dengan memodifikasi karakteristik jaringan.

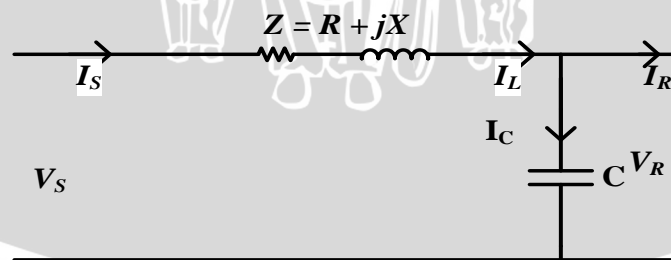
Kompensasi seri terdiri atas kapasitor *bank* yang ditempatkan secara seri pada masing – masing fasa pada saluran konduktor. Kompensasi seri berfungsi untuk mengurangi impedansi seri pada saluran yang menyebabkan jatuh tegangan sehingga sangat menentukan besar daya yang dapat ditransmisikan.

Namun kerugian dari kapasitor *bank* ini ialah perangkat proteksi otomatis harus dipasang agar mampu memotong arus lebih selama terjadi gangguan dan mengaplikasikan kembali kapasitor *bank* setelah gangguan berhasil diatasi. Selain itu penambahan kapasitor *bank* dapat menguatkan osilasi frekuensi rendah yang dikenal sebagai fenomena resonansi subsinkron yang bisa membahayakan batang poros antara turbin dan generator.

Sedangkan kompensasi *shunt* merujuk pada penempatan induktor dari masing-masing saluran ke netral. Induktor digunakan untuk menyerap daya reaktif dan mengurangi kelebihan tegangan selama kondisi beban ringan. Induktor juga berfungsi mengurangi transien kelebihan tegangan karena penskalaran surja petir.

Selain menggunakan reaktor *shunt*, kapasitor *shunt* terkadang juga dimanfaatkan untuk mengirim daya reaktif dan meningkatkan tegangan transmisi selama kondisi beban lebih.

Pemasangan kapasitor *shunt* pada saluran transmisi akan menyebabkan arus reaktif yang mengalir pada saluran akan berkurang sehingga turut mengakibatkan turunnya rugi daya pada saluran transmisi. Semakin kecilnya rugi daya akan mengakibatkan besar tegangan pada sumber tidak jauh berbeda dengan tegangan pada beban. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Pemasangan Kapasitor *Shunt* pada Saluran Transmisi (Tarsin, 2011:11)

Dari Gambar 2.7 di atas dapat ditunjukkan bahwa:

$$V_{R1} = V_s - (I_R \cdot R + jI_L X_S) \quad (2.55)$$

$$V_{R2} = V_s - (I_R \cdot R + jI_L X_S - jI_C X_S) \quad (2.56)$$

$$\Delta V_R = V_{R2} - V_{R1} \quad (2.57)$$

$$= V_s - (I_R \cdot R + jI_L X_s - jI_C X_s) - [V_s - (I_R \cdot R + jI_L X_s)]$$

$$= jI_C X_s$$

di mana:

I_R = Komponen arus real

I_L = Komponen arus reaktif *lagging* terhadap tegangan

I_C = Komponen arus reaktif *leading* terhadap tegangan

R = Resistansi saluran

X_s = Reaktansi saluran

Tipe kompensasi shunt yang lainnya ada *thyristor – switched reactors* yang dipasang secara paralel dengan kapasitor. Perangkat seperti ini disebut *static VAR compensator* (SVC) yang menyediakan kompensasi aktif. SVC dapat menyerap daya reaktif selama beban ringan sekaligus mampu mengirimkan daya reaktif selama beban lebih secara otomatis. Melalui kontrol otomatis pada saklar *thyristor*, fluktuasi tegangan diminimalisasi dan kemampuan saluran untuk dibebani semakin meningkat.

2.7 Sistem Kontroler dengan *Flexible AC Transmission*

Beban pada sistem tenaga dapat berubah – ubah disebabkan oleh beberapa hal seperti cuaca (*ambient temperature*) dan faktor –faktor lain yang tidak dapat diprediksi. Oleh karena itu aliran daya pada saluran transmisi dapat berubah pula bahkan ketika kondisi *steady state*. Kemungkinan – kemungkinan yang terjadi lainnya seperti *tripping* pada saluran atau generator juga turut andil menyebabkan kenaikan maupun penurunan aliran daya secara tiba – tiba.

Kenaikan beban pada saluran transmisi terkadang dapat menyebabkan penurunan tegangan secara drastis karena kekurangan daya reaktif yang dikirim pada pusat beban. Hal ini diakibatkan kenaikan konsumsi daya reaktif pada jaringan transmisi dan karakteristik beban.

Pada perkembangannya telah dikenalkan suatu perangkat kontroler elektronika daya yang mampu mengatur daya aktif maupun reaktif secara cepat dan dinamis. Perangkat ini dapat membuat transmisi jaringan AC beradaptasi dengan perubahan kondisi yang disebabkan oleh perubahan beban. *Flexible AC Transmission System* (FACTS) adalah suatu alat statis berbasis sistem elektronika daya yang menyediakan kontrol beberapa parameter pada saluran transmisi AC.

Berdasarkan penggunaan kontrol, perangkat FACTS diklasifikasikan menjadi (Padlyar, 2007:8):

1. Tipe *variable impedance*

Seperti *static VAR compensator (SVC)*, *thyristor controlled series compensator (TCSC)*, serta *thyristor controlled phase shifting transformer (TCPST)*.

2. Tipe *voltage source converter (VSC)*

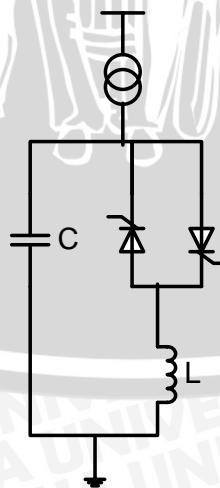
Seperti *static synchronous compensator (STATCOM)*, *static synchronous series compensator (SSSC)*, *interline power flow controller (IPFC)*, *unified power flow controller (UPFC)*.

2.7.1 *Static VAR Compensator (SVC)*

SVC merupakan salah satu jenis perangkat FACTS tipe *impedance variable* yang berfungsi baik untuk membangkitkan maupun menyerap daya reaktif. Tujuannya adalah menyediakan peningkatan faktor daya secara dinamis dan juga menyeimbangkan arus pada sisi sumber kapanpun dibutuhkan.

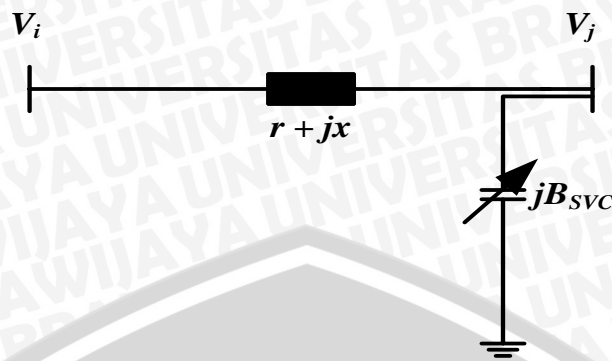
Pada bentuk yang paling sederhana, SVC terdiri atas *thyristor controlled reactor (TCR)* yang dipasang secara paralel dengan kapasitor *bank*. Prinsip kerja SVC secara umum adalah mengompensasi daya reaktif dengan cara mengatur sudut penyalan *thyristor* sehingga dapat mengatur keluaran daya reaktif dari SVC. Pada praktiknya SVC dapat dikatakan sebagai reaktansi kompensasi induktif sekaligus kapasitif yang dapat diatur.

Peletakan SVC sangat penting untuk menentukan keefektifannya dalam menjalankan fungsi sebagai kompensator daya reaktif. Berikut adalah permodelan sistem SVC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Topologi dasar SVC (Sadikvic, 2006:30)

Representasi permodelan SVC yang terhubung pada saluran i dan j ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9: Representasi SVC (Sadikvic, 2006:31)

Pada Gambar 2.9 menunjukkan model injeksi SVC, di mana sebuah arus reaktif diinjeksikan pada titik j , sedangkan V_i dan V_j tegangan pada titik i dan j secara berturut – turut. Daya reaktif yang diinjeksikan pada titik j dituliskan dalam persamaan berikut (Sadikvic, 2006:30):

$$Q_j = -V_j^2 B_{SVC} \tag{2.58}$$

di mana:

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.

Daya reaktif dapat diubah menjadi bentuk arus injeksi pada bus j dengan persamaan berikut (Sadikvic, 2006:30):

$$I_{jSVC} = jV_j B_{SVC} \tag{2.59}$$

dengan:

I_{jSVC} = arus injeksi SVC

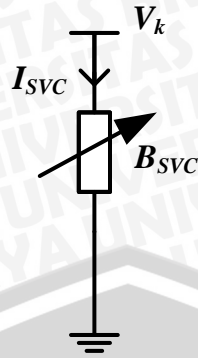
Terdapat dua macam konfigurasi SVC (Acha, 2004:155):

1. Model susceptansi *shunt* variabel:

Rangkaian ekuivalen untuk model susceptansi variabel *shunt* ditunjukkan pada

Gambar 2.10.





Gambar 2.10: Suseptansi *shunt* variabel (Acha, 2004:155)

Berdasarkan Gambar di atas, arus pada SVC dapat dihitung dengan persamaan:

$$I_{SVC} = jB_{SVC} V_{(k)} \quad (2.60)$$

Sementara untuk persamaan daya reaktif pada SVC yang juga merupakan daya reaktif yang diinjeksikan ke *bus k* adalah:

$$Q_{SVC} = Q_k = -V_k^2 B_{SVC} \quad (2.61)$$

2. Model *firing angle*

Permodelan SVC lainnya ialah berupa reaktansi ekuivalen X_{SVC} yang merupakan fungsi dari perubahan sudut penyalan α . Rangkaian reaktansi ekuivalen ini terdiri atas *thyristor – controlled reactor* (TCR) dan reaktansi kapasitif tetap (*fixed capacitor*). Model ini memberikan informasi mengenai sudut penyalan SVC yang diperlukan untuk mencapai tingkat kompensasi tertentu.

2.8. Sistem Tenaga Listrik Jawa Bali

Sistem tenaga listrik Jawa – Bali terbagi menjadi tiga, yaitu Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV yang merupakan pensuplai daya utama pada sistem tenaga listrik Jawa Bali, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, dan 70 kV.

Aliran daya dengan kapasitas besar melalui sistem transmisi 500 kV dialirkan ke pembangkit – pembangkit utama yang kemudia di Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 500 kV diturunkan menjadi 150 kV. Pada sistem 150 kV, terdapat pula pembangkit – pembangkit yang memberikan daya subsistem region dengan cakupan daerah yang lebih kecil. Aliran daya pada sistem 150 kV kemudian dialirkan ke pusat – pusat beban dan diturunkan lagi level tegangannya menjadi 70 kV.

Menurut Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa – Bali 500 kV tahun 2007 unjuk kerja berikut harus dipenuhi, yaitu:

- a. Frekuensi nominal 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49,5Hz. atau lebih tinggi dari 50,5 Hz, dan selama waktu keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi Sistem diizinkan turun hingga 47.5Hz atau naik hingga 52.0 Hz
- b. Tegangan Sistem harus dipertahankan dalam batasan sebagai berikut:

Tabel 2.1 Batas Tegangan Sistem Transmisi Jawa - Bali

Tegangan Nominal	Kondisi Normal
500 kV	+5%, -5%
150 kV	+5%, -10%
70 kV	+5%, -10%
20 kV	+5% - 10%

- c. Faktor-daya ($\cos \phi$) di titik sambung antara instalasi Pemakai Jaringan dengan Jaringan minimum sebesar 0.85 *lagging*.

2.9 Metode Optimasi

Pada awal mulanya algoritma evolusi digunakan sebagai algoritma untuk permasalahan optimasi yang mampu mendapatkan solusi paling optimal untuk masalah numerik di mana metode analitis tidak mampu memecahkannya. Selanjutnya berkembang berbagai macam jenis algoritma yang terbentuk dari pengamatan terhadap perilaku kepintaran sekumpulan hewan, salah satunya perilaku sekumpulan lebah yang terbukti dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kombinatorial.

Yang menciptakan *virtual bee algorithm* (VBA) untuk menyelesaikan permasalahan optimasi numerik. VBA dikenalkan untuk optimasi terbatas pada dua parameter. Pada VBA, kerumunan lebah virtual dibentuk dan dibuat agar bergerak secara acak dan berinteraksi ketika mereka menemukan target nektar yang sesuai untuk dikodekan pada suatu fungsi. Untuk optimasi fungsi numerik multivariabel, Karaboga mengenalkan suatu algoritma kumpulan lebah yang dikenal sebagai algoritma *artificial bee colony* (ABC) yang berbeda dari VBA.

2.9.1 Perilaku Lebah

Komponen penting yang dibutuhkan untuk mengamati munculnya kepintaran suatu kumpulan lebah ada tiga, yaitu (Karaboga dan Basturk, 2007:687-697):

1. Sumber makanan: nilai dari sumber makanan tergantung pada banyak faktor, seperti jarak kedekatan terhadap sarang, konsentrasi energi dan kemampuan menyerap energi.

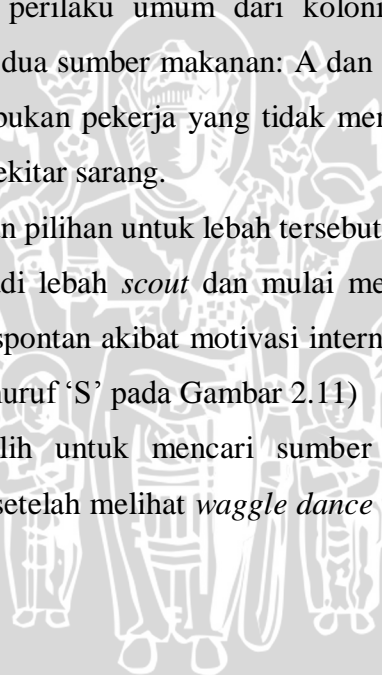
2. Lebah pekerja: lebah – lebah ini terkait dengan sumber makanan tempat mereka bekerja mengumpulkan makanan. Mereka juga turut membawa informasi mengenai jarak dan arah dari sarang menuju sumber makanan.
3. Lebah bukan pekerja: mereka bertugas untuk mencari sumber makanan. Terdapat dua tipe dari lebah ini, *scouts* yang mengamati lingkungan sekitar sarang yang dapat menjadi sumber makanan baru dan *onlookers* yang hanya menunggu di sarang serta mendapatkan informasi dari lebah pekerja tentang sumber makanan baru.

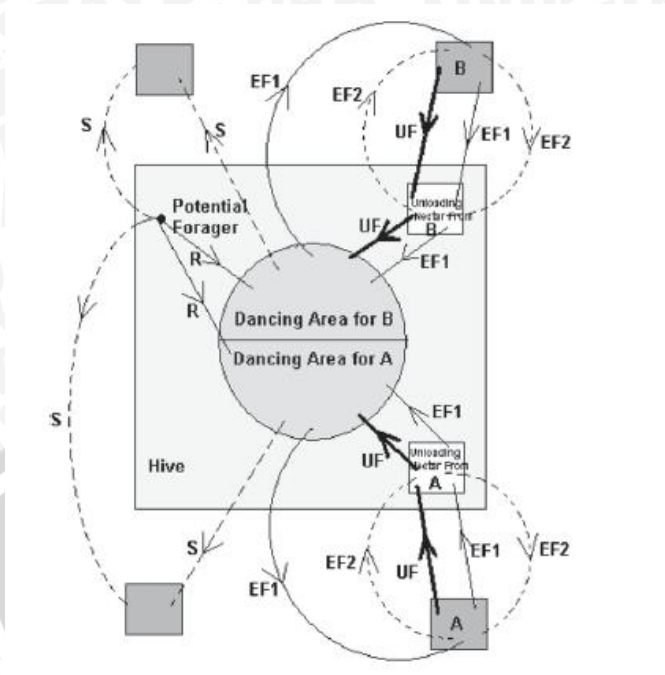
Pertukaran informasi di antara lebah – lebah menjadi kejadian yang paling penting dalam pembentukan pengumpulan pengetahuan. Komunikasi antara lebah yang terkait dengan kualitas sumber makanan terjadi pada suatu area yang dinamakan *dancing area*. Sementara pertukaran informasi dilakukan dengan *waggle dance*.

Untuk lebih memahami perilaku umum dari koloni lebah ditunjukkan pada Gambar 2.11. Anggap terdapat dua sumber makanan: A dan B. Pada mulanya, lebah – lebah bertindak sebagai lebah bukan pekerja yang tidak mengetahui informasi apapun mengenai sumber makanan di sekitar sarang.

Terdapat dua kemungkinan pilihan untuk lebah tersebut, yaitu:

1. Lebah tersebut menjadi lebah *scout* dan mulai mencari sumber makanan di sekitar sarang secara spontan akibat motivasi internal atau petunjuk eksternal. (ditunjukkan dengan huruf 'S' pada Gambar 2.11)
2. Lebah tersebut terpilih untuk mencari sumber makanan setelah terjadi pertukaran informasi setelah melihat *waggle dance* (ditunjukkan dengan huruf R pada Gambar 2.11)





Gambar 2.11: Perilaku Lebah dalam Pencarian Makanan (Karaboga, 2009:108 - 132)

Setelah menemukan sumber makanan, lebah – lebah tersebut memanfaatkan kemampuannya untuk mengingat lokasi dan sesegera mungkin mengeksploitasinya. Kesimpulannya, lebah – lebah tersebut akan menjadi ‘lebah pekerja’. Lebah pekerja mengambil nektar dari seumber kemudian meletakkannya ke tempat penyimpanan makanan di sarangnya.

1. Menjadi pengikut tidak terikat (*uncommitted follower*) setelah meninggalkan sumber makanan (UF).
2. Melakukan *waggle dance* dan kemudian merekrut lebah lain sebelum kembali ke sumber makanan lain (EF1).
3. Meneruskan untuk mencari makan di sumber makanan semula tanpa merekrut lebah lain (EF2).

Dalam kasus lebah ini, sifat dasar organisasi yang mengandalkan diri ialah sebagai berikut:

1. Umpan balik positif: ketika sumber makanan meningkat, jumlah lebah *onlooker* turut meningkat juga.
2. Umpan balik negatif: proses eksplorasi sumber makanan yang ditinggalkan oleh lebah dihentikan.
3. Fluktuasi: lebah *scout* melakukan proses pencarian acak untuk menemukan sumber makanan baru.

4. *Multiple interaction*: lebah pekerja membagi informasi tentang posisi sumber makanan dengan lebah – lebah lain pada *dance area*.

2.9.2 Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm

Pada ABC *algorithm*, koloni lebah terdiri atas tiga kelompok lebah, yakni lebah pekerja, lebah *onlooker*, dan lebah *scouts*. Lebah yang menunggu di *dance area* untuk membuat keputusan dalam memilih sumber makanan, disebut lebah *onlooker* dan lebah yang pergi ke sumber makanan yang pernah dikunjungi sebelumnya, disebut lebah pekerja. Sebagian koloni pertama terdiri atas lebah pekerja dan sebagian kedua mengandung lebah *onlooker*. Untuk setiap satu sumber makanan hanya terdapat satu jenis lebah pekerja. Dengan kata lain, jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah sumber makanan. Jika sumber makanan lebah pekerja telah habis, maka lebah ini menjadiah lebah *scout*.

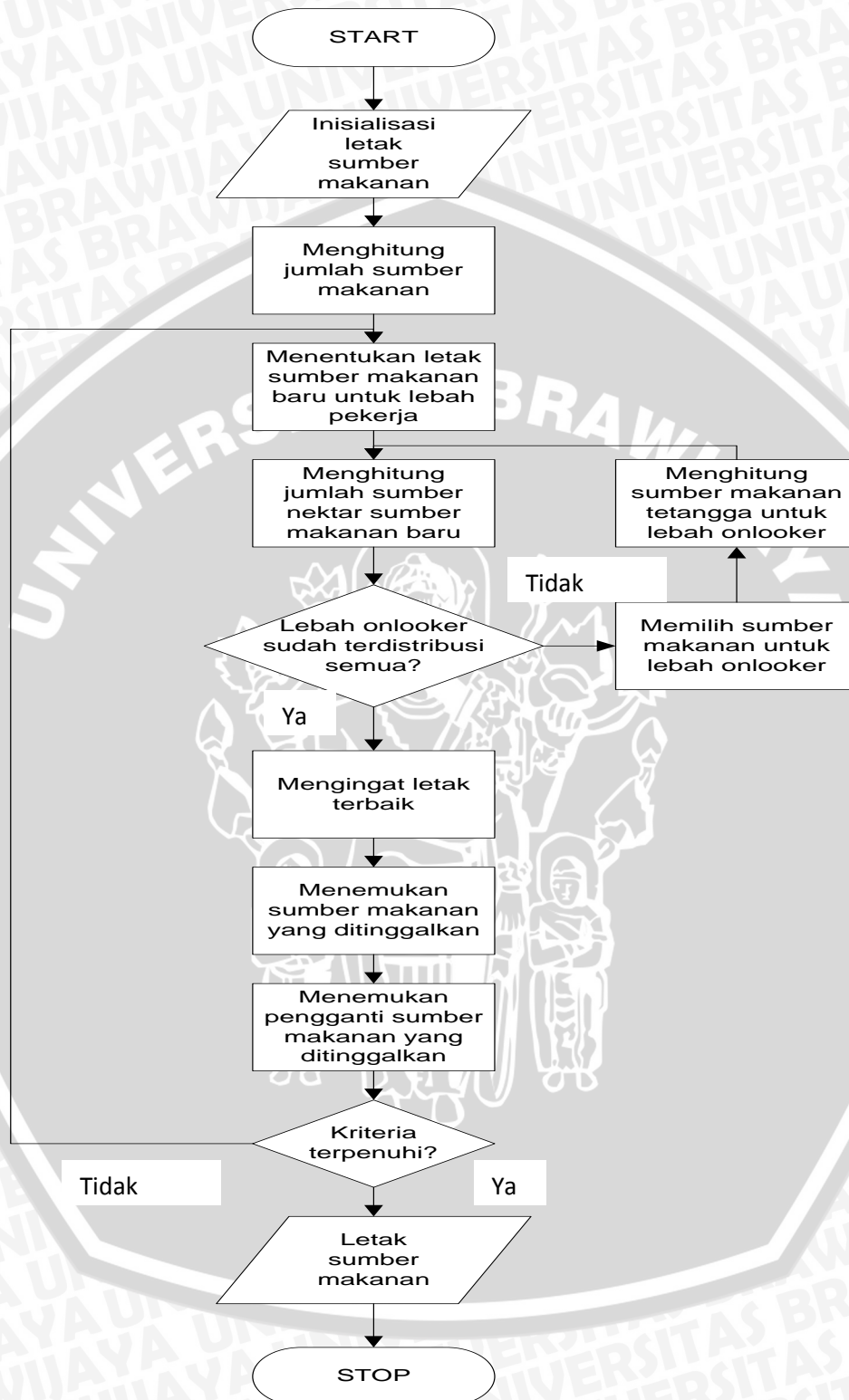
Langkah – langkah utama dari algoritma ABC diberikan seperti di bawah ini (Karaboga dan Basturk, 2007:687-697):

1. Inisialisasi sumber makanan awal.
2. *Repeat*
 - a) Kirim lebah *onlooker* pada sumber makanan berdasarkan jumlah nektar (*employed bees phase*).
 - b) Tempatkan lebah *onlooker* pada sumber makanan berdasarkan jumlah nektar (*onlooker bees phase*).
 - c) Hentikan proses eksploitasi sumber – sumber makanan yang ditinggalkan oleh lebah pekerja.
 - d) Kirim lebah *scout* ke daerah pencarian untuk menemukan sumber makanan baru secara acak (*scout bee phase*).
 - e) Mengingat sumber makanan terbaik yang telah ditemukan sejauh ini.
3. *Until* (persyaratan terpenuhi)

Untuk lebih mempermudah pemahaman tentang siklus dari koloni lebah dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 2.12.

Setiap siklus (*cycle*) pencarian terdiri atas tiga langkah, yaitu: mengirimkan lebah pekerja ke sumber makanan dan kemudian menghitung jumlah nektar, memilih sumber makanan untuk lebah *onlooker*, setelah informasi dibagikan oleh lebah pekerja dan menentukan

jumlah nektar serta menentukan lebah *scout*, kemudian mengirimkan mereka ke sumber makanan baru.



Gambar 2.12: Flowchart Algoritma ABC (Karaboga dan Bastruk, 2007:687-697)

Pada tahap inisialisasi, lebah memilih sumber makanan secara acak sekaligus menghitung jumlah nektarnya. Setelah itu, mereka kembali ke sarang dan membagi

informasi mengenai hasil temuan jumlah nektar pada sumber makanan yang ditemui tersebut kepada lebah *onlooker*. Peristiwa tersebut terjadi pada *dancing area*. Selanjutnya, lebah pekerja kembali pergi menuju sumber makanan yang sudah dikunjungi mengandalkan ingatan pada siklus sebelumnya lalu mencari sumber makanan baru berdasarkan informasi visual di sekitar sumber makanan yang sekarang.

Pada tahap kedua, lebah *onlooker* memilih sumber makanan berdasarkan informasi yang didapat ketika pertukaran informasi yang terjadi pada *dancing area*. Ketika jumlah nektar meningkat maka probabilitas lebah *onlooker* memilih sumber makanan turut meningkat.

Pada tahap ketiga, ketika nektar dari sebuah sumber makanan ditinggalkan oleh lebah pekerja, maka sumber makanan baru ditentukan secara acak oleh lebah *scout*. Dalam permodelan metode ini, untuk tiap siklus paling banyak satu lebah *scout* yang mencari sumber makanan baru dan jumlah lebah pekerja sama dengan jumlah lebah *onlooker*.

Posisi sumber makanan melambangkan solusi dari masalah optimasi dan jumlah nektar merepresenasikan kualitas (*fitness*) dari solusi terkait. Jumlah lebah pekerja atau lebah *onlooker* sama dengan jumlah solusi dalam populasi. Dalam kasus algoritma *artificial bee colony*, lebah *scout* ditugaskan untuk melakukan penemuan secara cepat dari kelompok solusi yang mungkin. Dalam algoritma ini salah satu lebah pekerja yang terpilih menjadi lebah *scout* dikendalikan oleh kontrol parameter yang disebut limit. Jika solusi yang melambangkan sumber makanan ini tidak dapat ditingkatkan melalui sejumlah percobaan, maka sumber makanan tersebut akan ditinggalkan oleh lebah pekerja, dan lebah pekerja tersebut akan berubah menjadi lebah *scout*.

Secara lengkap metode ABC dapat dijelaskan sebagai berikut (Prajapati, 2012):

1. Pada langkah pertama algoritma ABC, solusi acak dihasilkan dalam suatu variabel $\theta_{ij} = \theta_{imin} + r(\theta_{imax} - \theta_{imin})$ (2.61)

di mana:

θ_i = posisi lebah pekerja

$i = 1$: SN (sumber makanan)

$j = 1$: N (jumlah koloni)

r = nilai random [0,1]

2. Pada tahap kedua, masing-masing lebah pekerja akan sumber makanan baru dihasilkan dengan persamaan:

$$x_{ij}(t + 1) = \theta_{ij}(t) + \phi(\theta_{ij}(t) - \theta_{kj}(t)) \quad (2.62)$$

di mana

x = posisi lebah pekerja

t = jumlah iterasi

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

ϕ = urutan variabel acak [0,1]

- Setelah mendapatkan x_i , solusi baru dibandingkan dengan solusi dari θ_i selanjutnya dipilih sumber makanan yang terbaik. Pada langkah ketiga ini, lebah *onlooker* memilih sumber makanan berdasarkan persamaan probabilitas sebagai berikut:

$$P_i = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^{SN} F(\theta_k)} \quad (2.63)$$

Di mana

P_i = probabilitas pemilihan,

SN = jumlah sumber makanan,

θ_i = posisi lebah pekerja

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

- Langkah keempat ialah, lebah pekerja yang meninggalkan sumber makanan berubah menjadi lebah *scout* yang diseleksi secara acak dan dikendalikan oleh parameter *limit*. Lebah *scout* mencari sumber makanan baru yang dijabarkan dengan persamaan:

$$\theta_{ij} = \theta_{jmin} + r(\theta_{jmax} - \theta_{jmin}) \quad (2.64)$$

di mana r adalah nilai random [0,1]

Algoritma ABC menggunakan empat proses seleksi yang berbeda:

- Proses seleksi global yang digunakan oleh lebah *onlooker* untuk menemukan letak makanan yang optimal.
- Proses seleksi lokal yang dilakukan di suatu daerah oleh lebah pekerja dan lebah *onlooker* berdasarkan informasi lokal untuk menentukan sumber makanan ‘tetangga’.
- Proses seleksi lokal yang dilakukan oleh semua lebah, karena jika jumlah nektar dari kandidat sumber makanan baru lebih baik daripada sumber makanan lama, lebah akan melupakan posisi sumber makanan lama dan mengingat sumber makanan yang baru.
- Proses seleksi acak yang dilakukan oleh lebah *scout*.

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa 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).



BAB III

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan untuk pembahasan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan adalah mempelajari dan memahami konsep tentang analisis aliran daya listrik, perangkat FACTS *devices* berupa *Static VAR Compensator* (SVC), serta algoritma *artificial bee colony* sebagai metode penyelesaiannya.

3.2 Pengambilan Data

Data – data yang digunakan adalah data yang bersumber dari buku referensi, jurnal, dan skripsi maupun tesis yang relevan dengan pembahasan skripsi. Data primer yang digunakan adalah data *bus*, baik pembangkitan, pembebanan, serta saluran antar *bus* pada sistem transmisi Jawa Madura Bali 500 kV. Sedangkan data sekunder untuk validasi berasal dari data standar IEEE-30 *Bus*.

3.3 Analisis Aliran Daya

Setelah studi literatur dan pengambilan data selesai dikerjakan, tahap selanjutnya adalah menganalisis data – data tersebut dan dievaluasi dalam suatu *load flow* dengan menggunakan metode Newton – Raphson. Analisis ini bertujuan untuk menentukan *bus* dengan tegangan terendah, yang kemudian dengan menggunakan algoritma *artificial bee colony* untuk menentukan lokasi penempatan SVC paling akurat dan tepat pada *bus* yang mengalami krisis tegangan pada sistem.

3.4 Penerapan *Artificial Bee Colony Algorithm* untuk Pemasangan SVC

SVC merupakan salah satu jenis perangkat FACTS yang dikembangkan guna mengatasi permasalahan jatuh tegangan dan rugi – rugi daya yang kerap terjadi pada sistem tenaga listrik di mana jatuh. SVC bertugas untuk mengompensasi daya reaktif untuk meningkatkan performa sistem tenaga listrik.

Pada penelitian ini, kapasitas SVC yang digunakan adalah antara 0 MVAR sampai 300 MVAR. Kapasitas ini didasarkan pada *technical data* ABB untuk memperbaiki stabilitas dan kapabilitas sistem transmisi 500 kV, di mana *range* SVC dibatasi dengan nilai 450 MVAR induktif hingga 400 MVAR kapasitif. Peralatan ini memberikan kontrol daya reaktif dengan menyerap maupun menginjeksinya daya reaktif pada sistem secara dinamis. Sementara untuk data standar, kapasitas SVC yang diimplementasikan adalah 0 MVAR sampai 100 MVAR.

Algoritma *artificial bee colony* digunakan untuk menentukan letak optimal dari SVC untuk meminimalisasi rugi daya yang terjadi sekaligus memperbaiki level tegangan yang tidak sesuai dengan standar yang ditentukan.

3.4.1 Penerapan ABC Algorithm

Penerapan *artificial bee colony algorithm* yang digunakan untuk menentukan letak optimum SVC yang bertujuan memperbaiki performansi sistem tenaga listrik ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1: Implementasi Algoritma *Artificial Bee Colony*

Algoritma <i>Artificial Bee Colony</i>	Optimasi Penempatan SVC
Posisi sumber makanan	Posisi kapasitor dan kapasitas SVC
Kualitas nektar (<i>fitness</i>)	Fungsi obyektif = $\min \sum P_{loss}$

3.4.2 Batasan Untuk Penyelesaian Permasalahan Optimasi

Perlu juga diperhatikan beberapa batasan untuk mendapatkan solusi permasalahan optimasi, yaitu:

- a) Tegangan tiap *bus* diupayakan pada batas rentang sebagai berikut:

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (3.1)$$

i = nomor *bus*

$$V_i^{\min} = 0,95 \text{ pu}$$

$$V_i^{\max} = 1,05 \text{ pu}$$

- b) Daya reaktif yang diijinkan untuk komponen kompensator SVC dibatasi pada rentang:

$$Q_{SVCi}^{\min} \leq Q_{SVCi} \leq Q_{SVCi}^{\max} \quad (3.2)$$

di mana:

$$i = 1, \dots, NC$$

NC = jumlah sumber VAR

- c) Tap transformator pada penelitian ini dianggap 1

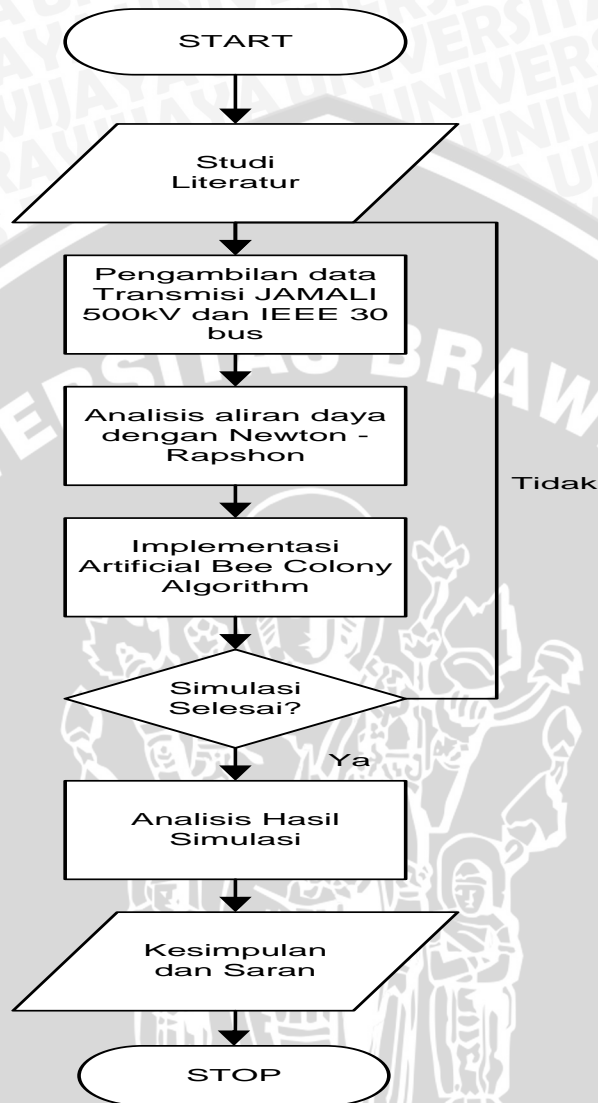
3.5 Analisis Hasil Simulasi

Setelah dilakukan simulasi, baik analisis aliran daya menggunakan Newton – Raphson maupun penerapan *artificial bee colony algorithm* sebagai metode optimasi penempatan SVC, langkah selanjutnya adalah menjawab pertanyaan pada rumusan masalah:

1. Perbandingan daya reaktif dan tegangan sebelum dan sesudah dipasang SVC pada pembebanan 100%, 80%, serta 60%.
2. Mendapatkan letak serta kapasitas paling optimal dari SVC.

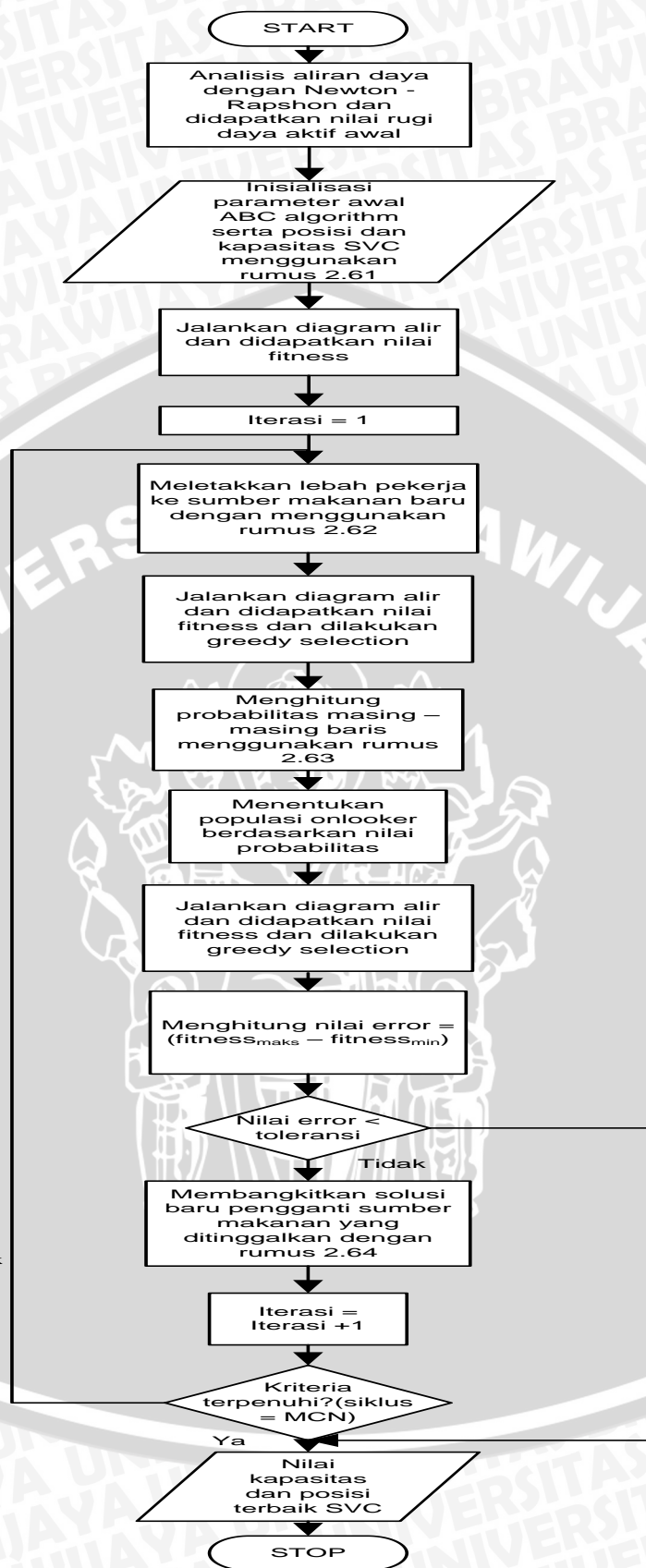
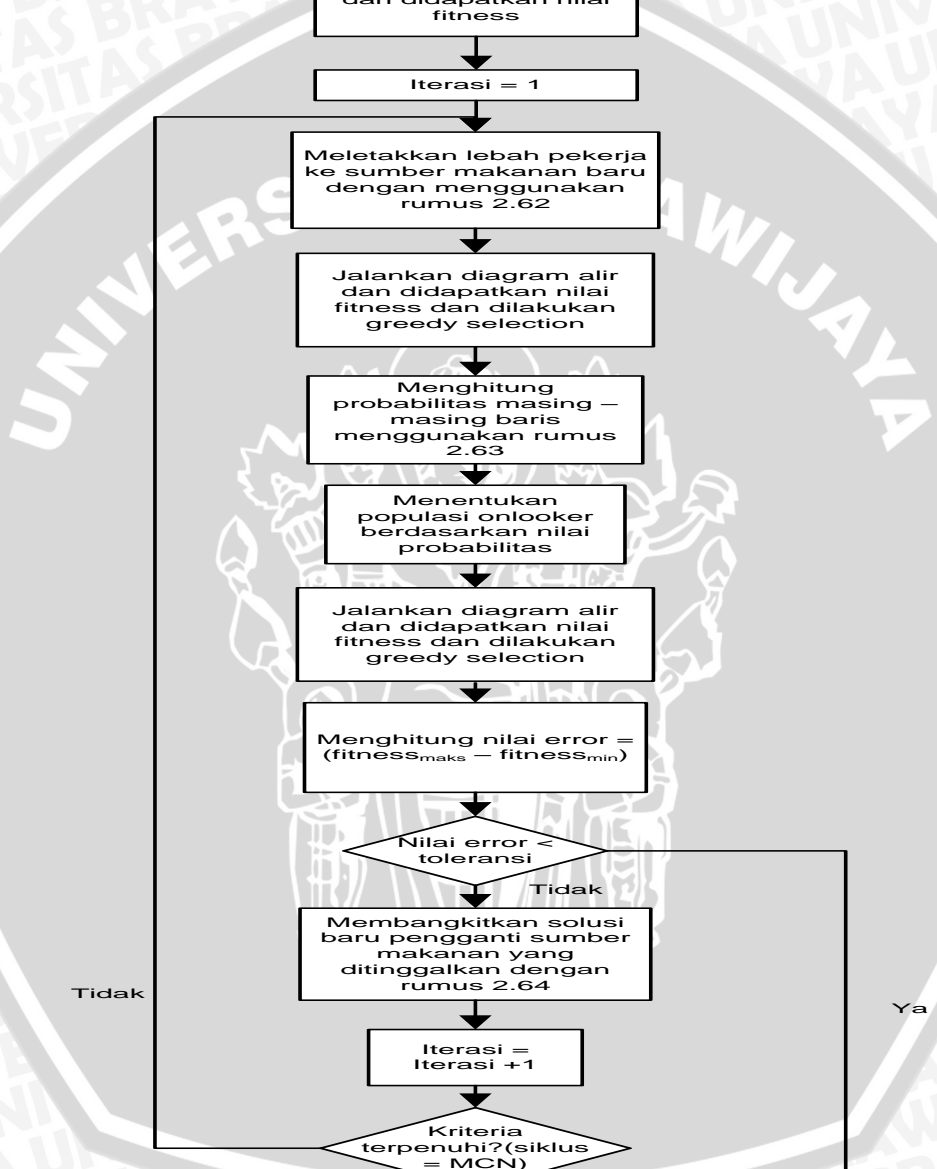
3.6 Penutup

Pada bagian penutup akan dilakukan pengambilan kesimpulan dan saran dari hasil simulasi. Adapun diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: *Flowchart* Penelitian (Penulis, 2013)

Sementara untuk diagram alir dari implementasi *artificial bee colony algorithm* yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 adalah:



Gambar 3.2: Flowchart Implementasi ABC Algorithm (Penulis, 2013)



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Per Unit

Dalam suatu analisis sistem daya umumnya digunakan sistem per unit untuk menormalisasi variabel pada sistem. Dibandingkan menggunakan unit fisika seperti *ampere, volt, ohm, weber*, dan lain sebagainya, sistem per unit menyediakan komputasi yang lebih sederhana dengan mengeliminasi satuan dan mengekspresikan kuantitas pada sistem dalam bentuk rasio tanpa dimensi. Pernyataan di atas dapat dirumuskan sebagai berikut (Kundur, 1994:75):

$$\text{nilai per unit} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai dasar}}$$

Sebelum melakukan simulasi dan analisis terdapat persamaan nilai per unit yang digunakan pada skripsi ini:

$$\text{Impedansi dasar } (Z_{base}) = \frac{kV^2_{dasar}}{MVA_{dasar}} \quad (4.1)$$

$$\text{Impedansi pu } (Z_{pu}) = \frac{Z_{\Omega}}{Z_{base}} \quad (4.2)$$

4.1.1 Data Bus sistem Jawa Bali 500 kV

Sistem transmisi yang digunakan untuk skripsi ini adalah sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV yang diambil pada tanggal 7 Mei 2013 yang bersumber dari PT PLN (Persero). Data sistem transmisi yang digunakan terdiri atas 26 bus, 31 saluran, dan 8 pusat pembangkit yang terhubung ke bus –bus beban melalui saluran transmisi. Bus – bus tersebut diklasifikasikan sebagai berikut (Supriatna, 2013):

- a) *Bus Swing* : Suralaya
- b) *Bus Generator* : Muara Tawar, Cirata, Saguling, Tanjung Jati, Gresik, Paiton, dan Grati.
- c) *Bus Beban* : New Suralaya, Cilegon, Kembangan, Gandul, Balaraja, Cibinong, Cawang, Bekasi, Cibatu, Bandung Selatan, Mandicaran, Ungaran, Surabaya Barat, Depok, Tasikmalaya, Pedan, Kediri, dan Ngimbang.

Gambar *single line diagram* sistem transmisi Jawa- Bali 500 kV dapat dilihat pada Gambar 4.1.



4.1.2 Data Saluran

Data saluran sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV yang digunakan pada skripsi ini berjumlah 31 saluran dengan rincian ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Saluran Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV

Saluran		R (pu)	X(pu)	1/2 B (pu)	Tap Setting
Dari	Ke				
2	1	0,00015	0,00141	0,005683815	1
2	3	0,00063	0,00701	0,001141429	1
2	6	0,00368	0,03533	0,000226416	1
3	7	0,01313	0,14693	5,44495E-05	1
5	4	0,00151	0,01693	0,000472621	1
5	6	0,00298	0,02862	0,000279497	1
7	14	0,00411	0,04600	0,000173931	1
9	7	0,00444	0,04268	0,000187462	1
9	8	0,00197	0,01896	0,000421900	1
10	5	0,00035	0,00335	0,002399031	1
10	7	0,00091	0,00877	0,000912626	1
11	7	0,00621	0,05968	0,000134053	1
11	8	0,00563	0,05405	0,000148017	1
12	11	0,00282	0,02711	0,000295063	1
12	13	0,00274	0,02618	0,000305545	1
14	13	0,00147	0,01417	0,000564635	1
14	16	0,00196	0,02190	0,000365257	1
15	10	0,01406	0,15725	0,000050875	1
17	16	0,00699	0,06717	0,000119108	1
17	19	0,01348	0,12949	0,000061781	1
19	18	0,00677	0,07570	0,000105675	1
19	20	0,00904	0,08681	9,21505E-05	1
19	21	0,02348	0,22558	3,54641E-05	1
20	15	0,01531	0,17129	4,67055E-05	1
21	22	0,00597	0,05740	0,000139362	1
22	19	0,02979	0,28623	2,79497E-05	1
22	24	0,00399	0,04460	0,000179386	1
23	22	0,00140	0,01346	0,000594543	1
25	20	0,01029	0,11513	0,000069488	1
26	24	0,00422	0,04718	0,000169547	1
26	25	0,01029	0,11513	0,000069488	1

Sumber: Supriatna, 2013

4.1.3 Data Pembebanan

Berikut merupakan data pembebanan bus pada sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV yang terdiri atas nama bus, jenis bus, tegangan bus, dan daya pembebanan baik daya aktif maupun reaktifnya yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pembebanan Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV

No Bus	Nama Bus	Kode Bus	Tegangan	Sudut	Pembebanan	
					Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	New Suralaya	2	1,000	0	86	34
2	Suralaya	1	1,020	0	142	-56
3	Cilegon	0	1,000	0	320	-139
4	Kembangan	0	1,000	0	676	213
5	Gandul	0	1,000	0	727	47
6	Balaraja	0	1,000	0	636	253
7	Cibinong	0	1,000	0	473	350
8	Cawang	0	1,000	0	343	97
9	Bekasi	0	1,000	0	1097	79
10	Depok	0	1,000	0	536	166
11	Muara Tawar	2	1,000	0	0	0
12	Cibatu	0	1,000	0	666	463
13	Cirata	2	1,000	0	650	270
14	Saguling	2	1,000	0	0	0
15	Tasikmalaya	0	1,000	0	137	48
16	Bandung Selatan	0	1,000	0	505	325
17	Mandicaran	0	1,000	0	339	3
18	Tanjung Jati	2	1,025	0	380	96
19	Ungaran	0	1,000	0	838	382
20	Pedan	0	1,000	0	631	430
21	Ngimbang	0	1,000	0	262	43
22	Surabaya Barat	0	1,000	0	983	642
23	Gresik	2	1,025	0	146	21
24	Grati	2	1,000	0	430	205
25	Kediri	0	1,000	0	605	197
26	Paiton	2	1,000	0	593	144

Sumber: Supriatna, 2013

4.1.4 Data Pembangkitan

Adapun data daya yang dibangkitkan masing – masing pembangkitan pada sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Pembangkitan Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV

No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	Suralaya	2962	1554
2	Muaratawar	1351	703
3	Tanjung Jati	2385	336
4	Gresik	590	111



No	Nama Pembangkit	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
5	Paiton	3025	551
6	Grati	325	44
7	Cirata	365	120
8	Saguling	647	135
TOTAL		11650	3554

Sumber: Supriatna, 2013

4.2 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV

Metode yang digunakan untuk penyelesaian permasalahan analisis aliran daya pada skripsi ini adalah *Newton – Raphson*. Metode ini digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan pada masing – masing bus yang belum diketahui sebelumnya dan menghitung rugi daya pada saluran transmisi.

Penyelesaian permasalahan aliran daya ini didasarkan pada:

1. Base tegangan = 500 kV
2. Base daya = 1000 MVA
3. Akurasi = 0,0001
4. Maksimum Iterasi = 200

4.2.2 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 100%

Running load flow pertama diaplikasikan pada kondisi pembebanan 100% atau pembebanan penuh. Setelah dilakukan *load flow* menggunakan *Newton – Raphson*, diperoleh hasil analisis aliran daya sebelum pemasangan SVC ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 100% Sebelum Pemasangan SVC

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0199	-0,0064	86	34	0,0000	0,0000	0
2	1,0200	0,0000	142	-56	3667,9534	1302,2790	0
3	1,0175	-0,4331	320	-139	0,0000	0,0000	0
4	0,9510	-7,9087	676	213	0,0000	0,0000	0
5	0,9559	-7,2077	727	47	0,0000	0,0000	0
6	0,9775	-4,4415	636	253	0,0000	0,0000	0
7	0,9567	-7,2544	473	350	0,0000	0,0000	0
8	0,9604	-8,8890	343	97	0,0000	0,0000	0

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
9	0,9564	-9,2804	1097	79	0,0000	0,0000	0
10	0,9549	-7,2496	536	166	0,0000	0,0000	0
11	0,9800	-6,7042	0	0	1351,0000	1248,7475	0
12	0,9624	-7,3734	666	463	0,0000	0,0000	0
13	0,9600	-7,0297	650	270	365,0000	890,5513	0
14	0,9500	-6,5300	0	0	647,0000	-310,2886	0
15	0,9178	-3,9106	137	48	0,0000	0,0000	0
16	0,9371	-6,3526	505	325	0,0000	0,0000	0
17	0,9257	-3,6663	339	3	0,0000	0,0000	0
18	0,9750	14,0186	380	96	2385,0000	778,5095	0
19	0,9205	4,5813	838	382	0,0000	0,0000	0
20	0,8944	1,5656	631	430	0,0000	0,0000	0
21	0,9516	6,4486	262	43	0,0000	0,0000	0
22	0,9641	7,8257	983	642	0,0000	0,0000	0
23	0,9750	8,1263	146	21	590,0000	764,2647	0
24	0,9800	10,8354	430	205	325,0000	631,2101	0
25	0,9149	5,9880	605	197	0,0000	0,0000	0
26	0,9800	14,3719	593	144	3025,0000	602,9173	0
TOTAL			12201	4313	12355,9534	5908,1908	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 100%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,00115	-11,8150
2	2	3	0,82867	6,9012
3	2	6	22,72410	217,8690
4	3	7	10,55300	117,9530
5	5	4	0,84018	8,5400
6	5	6	9,50450	90,7613
7	7	14	0,36542	3,7719
8	9	7	2,76000	26,1741
9	9	8	0,31944	2,2940
10	10	5	0,04208	-3,9744
11	10	7	0,03253	-1,3550



No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
12	11	7	1,08960	10,2173
13	11	8	3,33900	31,8004
14	12	11	1,66110	15,4105
15	12	13	0,15470	0,9132
16	14	13	1,23070	10,7945
17	14	16	0,70802	7,2704
18	15	10	2,45270	27,3996
19	17	16	3,12230	29,7907
20	17	19	14,03800	134,7620
21	19	18	31,93370	357,0540
22	19	20	3,51390	33,6080
23	19	21	0,86411	8,2426
24	20	15	4,16310	46,4975
25	21	22	1,23220	11,5828
26	22	19	1,70630	16,3440
27	22	24	5,68500	63,2610
28	23	22	1,10560	9,5041
29	25	20	4,07460	45,4695
30	26	24	6,87430	76,5748
31	26	25	18,02910	201,5710
TOTAL			154,95370	1595,1926

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.4 didapatkan hasil *load flow* bahwa tidak semua tegangan bus pada sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV berada pada nilai standar yang diharapkan yaitu $0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu. Bus – bus dengan tegangan di luar batas standar tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Bus – bus Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 100%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu)	Kondisi
15	Tasikmalaya	0,9178	<i>Undervoltage</i>
16	Bandung Selatan	0,9371	<i>Undervoltage</i>
17	Mandicaran	0,9257	<i>Undervoltage</i>
19	Ungaran	0,9205	<i>Undervoltage</i>
20	Pedan	0,8944	<i>Undervoltage</i>
25	Kediri	0,9135	<i>Undervoltage</i>

Sementara pada Tabel 4.5 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem Jawa – Bali 500 kV masing – masing sebesar 154,9537 MW dan 1595,1926 MVAR.

4.2.3 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 80%

Running load flow diaplikasikan pada kondisi pembebanan rata – rata atau 80% dari beban penuh. Setelah dilakukan *load flow* menggunakan *Newton – Raphson*, diperoleh hasil analisis aliran daya sebelum pemasangan SVC ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 80% Sebelum Pemasangan SVC

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0200	-0,0052	68,8	27,2	0,0000	0,0000	0
2	1,0200	0,0000	113,6	-44,8	2907,2664	1070,2375	0
3	1,0180	-0,3423	256	-111,2	0,0000	0,0000	0
4	0,9622	-6,1725	540,8	170,4	0,0000	0,0000	0
5	0,9661	-5,6242	581,6	37,6	0,0000	0,0000	0
6	0,9849	-3,4853	508,8	202,4	0,0000	0,0000	0
7	0,9658	-5,6505	378,4	280	0,0000	0,0000	0
8	0,9666	-6,9227	274,4	77,6	0,0000	0,0000	0
9	0,9641	-7,2349	877,6	63,2	0,0000	0,0000	0
10	0,9651	-5,6529	428,8	132,8	0,0000	0,0000	0
11	0,9800	-5,1759	0	0	1080,8000	955,4655	0
12	0,9639	-5,6952	532,8	370,4	0,0000	0,0000	0
13	0,9600	-5,4055	520	216	292,0000	96,7010	0
14	0,9600	-5,0582	0	0	517,6000	240,6545	0
15	0,9364	-2,9783	109,6	38,4	0,0000	0,0000	0
16	0,9502	-4,9099	404	260	0,0000	0,0000	0
17	0,9419	-2,7974	271,2	2,4	0,0000	0,0000	0
18	0,9750	11,0637	304	76,8	1908,0000	517,2607	0
19	0,9376	3,6187	670,4	305,6	0,0000	0,0000	0
20	0,9175	1,3022	504,8	344	0,0000	0,0000	0
21	0,9639	5,0532	209,6	34,4	0,0000	0,0000	0
22	0,9742	6,1266	786,4	513,6	0,0000	0,0000	0
23	0,9850	6,3486	116,8	16,8	472,0000	768,5061	0
24	0,9800	8,5422	344	164	260,0000	341,7916	0
25	0,9323	4,7404	484	157,6	0,0000	0,0000	0
26	0,9800	11,365	474,4	115,2	2420,0	425,1147	0
TOTAL			9760,8	3450,4	9857,6664	4435,7315	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 80%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,00073	-11,8194
2	2	3	0,52400	3,49190
3	2	6	14,41530	138,039
4	3	7	6,73030	75,1860
5	5	4	0,52518	4,99660
6	5	6	6,04390	57,5149
7	7	14	0,25522	2,53270
8	9	7	1,72450	16,2189
9	9	8	0,18332	0,97495
10	10	5	0,03689	-4,11820
11	10	7	0,00473	-1,65590
12	11	7	0,46144	4,17950
13	11	8	2,02080	19,1343
14	12	11	1,27580	11,7060
15	12	13	0,15431	0,90908
16	14	13	0,24607	1,32340
17	14	16	0,41752	4,00450
18	15	10	1,57760	17,5571
19	17	16	2,66520	29,7362
20	17	19	8,81310	84,5632
21	19	18	19,69640	220,1515
22	19	20	2,14480	20,4474
23	19	21	0,57595	5,46930
24	20	15	2,66520	29,7362
25	21	22	0,78078	7,23960
26	22	19	1,11280	10,6398
27	22	24	3,44150	38,1578
28	23	22	0,99907	8,45730
29	25	20	2,53940	28,2904
30	26	24	4,38030	48,7681
31	26	25	11,15260	124,6403
TOTAL			96,8666	985,3328

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.7 dan 4.8 menunjukkan bahwa nilai level tegangan ketika diaplikasikan pada kondisi pembebanan 80% lebih tinggi dan nilai rugi daya yang lebih kecil. Hal tersebut mengakibatkan nilai tegangan yang berada di bawah standar, yaitu $0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu lebih sedikit. Bus – bus dengan tegangan di luar batas standar tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Bus – bus Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 80%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu)	Kondisi
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

Sementara pada Tabel 4.8 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem Jawa – Bali 500 kV masing – masing sebesar 96,8666 MW dan 985,3328 MVAR.

4.2.4 Analisis Aliran Daya Sistem Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 60%

Pada *running load flow* ketiga diaplikasikan pada kondisi pembebanan rendah atau 60% dari beban penuh. Setelah dilakukan *load flow* menggunakan *Newton – Raphson*, diperoleh hasil analisis aliran daya sebelum pemasangan SVC ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Transmisi Jawa – Bali 500 kV Pada Pembebanan 60% Sebelum Pemasangan SVC

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0200	-0,0039	51,6	20,4	0,0000	0,0000	0
2	1,0200	0,0000	85,2	-33,6	2161,4164	862,6206	0
3	1,0183	-0,2533	192,0	-83,4	0,0000	0,0000	0
4	0,9732	-4,5124	405,6	127,8	0,0000	0,0000	0
5	0,9760	-4,1098	436,2	28,2	0,0000	0,0000	0
6	0,9920	-2,5616	381,6	151,8	0,0000	0,0000	0
7	0,9747	-4,1196	283,8	210,0	0,0000	0,0000	0
8	0,9726	-5,0407	205,8	58,2	0,0000	0,0000	0
9	0,9716	-5,2767	658,2	47,4	0,0000	0,0000	0
10	0,9751	-4,1267	321,6	99,6	0,0000	0,0000	0
11	0,9800	-3,7245	0,0	0,0	810,6000	301,8428	0
12	0,9756	-4,1530	399,6	277,8	0,0000	0,0000	0
13	0,9800	-3,9852	390,0	162,0	219,0000	1035,2730	0
14	0,9700	-3,6701	0,0	0,0	388,2000	-532,2740	0
15	0,9565	-2,1350	82,2	28,8	0,0000	0,0000	0
16	0,9635	-3,5572	303,0	195,0	0,0000	0,0000	0

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
17	0,9596	-2,0122	203,4	1,8	0,0000	0,0000	0
18	0,9850	8,0370	228,0	57,6	1431,0000	342,2383	0
19	0,9591	2,6226	502,8	229,2	0,0000	0,0000	0
20	0,9447	0,9714	378,6	258,0	0,0000	0,0000	0
21	0,9791	3,6501	157,2	25,8	0,0000	0,0000	0
22	0,9868	4,4303	589,8	385,2	0,0000	0,0000	0
23	0,9950	4,5919	87,6	12,6	354,0000	594,5106	0
24	0,9900	6,2028	258,0	123,0	195,0000	224,4124	0
25	0,9561	3,4473	363,0	118,2	0,0000	0,0000	0
26	0,9900	8,2710	355,8	86,4	1815,0000	290,0227	0
TOTAL			2587,8	2587,8	7374,2164	3118,6463	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rugi – rugi Daya Pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Dengan Pembebanan 60%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,00041	-11,8227
2	2	3	0,29470	0,9258
3	2	6	8,17520	78,0851
4	3	7	3,87430	43,2348
5	5	4	0,28877	2,3327
6	5	6	3,46290	32,7176
7	7	14	0,15410	1,3951
8	9	7	0,95483	8,8185
9	9	8	0,09220	0,0885
10	10	5	0,03291	-4,2489
11	10	7	0,00196	-1,7158
12	11	7	0,12753	0,9691
13	11	8	1,06400	9,9339
14	12	11	0,27544	2,0834
15	12	13	0,10789	0,4466
16	14	13	0,93574	7,9166
17	14	16	0,18711	1,4105
18	15	10	0,83107	16,0964
19	17	16	1,05310	9,8971
20	17	19	4,78700	45,8774
21	19	18	10,6594	119,0478
22	19	20	1,14000	10,7859

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
23	19	21	0,31955	3,0034
24	20	15	1,44640	16,0964
25	21	22	0,42690	3,8321
26	22	19	0,61336	5,8400
27	22	24	1,87980	20,6797
28	23	22	0,58040	4,4087
29	25	20	1,39900	15,5257
30	26	24	2,39990	26,5154
31	26	25	6,05060	67,5575
TOTAL			53,6165	530,8466

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.10 dan 4.11 menunjukkan bahwa nilai level tegangan ketika diaplikasikan pada kondisi pembebanan 60% lebih tinggi dan nilai rugi daya yang lebih kecil dibandingkan dengan dua percobaan sebelumnya. Bahkan hanya terdapat satu nilai tegangan yang berada di bawah standar, yaitu $0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu.

Bus – bus dengan tegangan di luar batas standar tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 *Bus – bus* Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar Pada Kondisi Pembebanan 60%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu)	Kondisi
20	Pedan	0,9447	<i>Undervoltage</i>

Sementara pada Tabel 4.11 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem Jawa – Bali 500 kV masing – masing sebesar 53,6165 MW dan 530,8466 MVAR.

4.4 Optimasi Penempatan SVC

Penempatan SVC pada sistem transmisi bertujuan memberikan suatu daya reaktif yang berfungsi untuk mengurangi rugi – rugi daya pada saluran transmisi serta memperbaiki level tegangan, terutama untuk tegangan *bus* di luar batas standar.

Terdapat berbagai macam metode optimasi yang dapat digunakan untuk memberikan letak serta kapasitas SVC terbaik sehingga dapat memberikan hasil paling optimal.

Metode optimasi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penentuan posisi dan kapasitas SVC pada skripsi ini adalah metode *artificial bee colony algorithm*. Berdasarkan kebaruan, metode ini jauh lebih terkini karena dikenalkan oleh Karaboga

pada tahun 2005. Terdapat tiga nilai parameter yang dibutuhkan pada metode *artificial bee colony algorithm*, yaitu jumlah sumber makanan (SN), nilai limit, serta siklus maksimum (MCN).

4.4.1 Hasil *Running Load Flow Artificial Bee Colony* Dengan Parameter 1

Pada simulasi pertama nilai parameter ditentukan dengan nilai yang terdapat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Nilai Parameter 1 *Artificial Bee Colony Algorithm*

Parameter	Nilai
Jumlah Sumber Makanan (SN)	10
Nilai Limit	50
Siklus Maksimum (MCN)	5
Nilai Fitness	138,3325
Waktu Iterasi	58 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

4.4.2 Hasil *Running Load Flow Artificial Bee Colony* Dengan Parameter 2

Pada simulasi kedua nilai parameter ditentukan dengan nilai yang terdapat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Nilai Parameter 2 *Artificial Bee Colony Algorithm*

Parameter	Nilai
Jumlah Sumber Makanan (SN)	20
Nilai Limit	100
Siklus Maksimum (MCN)	10
Nilai Fitness	136,557
Waktu Iterasi	5 menit 59 detik

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari kedua simulasi yang telah ditabelkan pada Tabel 4.13 dan 4.14 didapatkan kesimpulan apabila semakin besar nilai parameter maka nilai fitness atau jumlah rugi daya yang dihasilkan semakin kecil. Sehingga pada simulasi optimasi penempatan dan kapasitas SVC nilai parameter pada Tabel 4.14 yang akan digunakan. Namun perlu diingat apabila nilai parameter yang terlalu besar akan mengakibatkan waktu iterasi yang lebih lama.

4.4.3 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 100%

Hasil *running load flow* setelah pemasangan SVC dengan *range* kapasitas 0 – 300 MVAR pada kondisi pembebanan 100% dengan metode *artificial bee colony* ini ditunjukkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 100%

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0199	-0,0064	86	34	0,0000	0,0000	0,0000
2	1,0200	0	142	-56	3649,557	1029,0914	0,0000
3	1,0181	-0,4343	320	-139	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,9629	-7,8289	676	213	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,9678	-7,1451	727	47	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,9841	-4,2222	636	253	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,9693	-7,1931	473	350	0,0000	0,0000	0,0000
8	0,9718	-8,7794	343	97	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,9682	-9,1636	1097	79	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,9675	-7,1870	536	166	0,0000	0,0000	0,0000
11	0,9900	-6,6362	0	0	1351,000	998,2012	192,8656
12	0,9725	-7,2898	666	463	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,9700	-6,9513	650	270	365,000	208,5310	0,0000
14	0,9700	-6,5272	0	0	647,000	99,1673	0,0000
15	0,9543	-7,2898	137	48	0,0000	0,0000	300,0000
16	0,9599	-6,9513	505	325	0,0000	0,0000	0,0000
17	0,9563	-3,8774	339	3	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,9950	12,601	380	96	2385,000	469,0780	0,0000
19	0,9647	3,6555	838	382	0,0000	0,0000	300,0000
20	0,9559	0,9001	631	430	0,0000	0,0000	300,0000
21	0,9804	5,3856	262	43	0,0000	0,0000	0,0000
22	0,9889	6,6888	983	642	0,0000	0,0000	300,0000
23	0,9950	7,0035	146	21	590,000	426,3065	0,0000
24	1,0000	9,5528	430	205	325,000	527,0244	0,0000
25	0,9748	4,9047	605	197	0,0000	0,0000	300,0000
26	1,0000	12,9119	593	144	3025,000	264,2858	0,0000
TOTAL			12201	4313	12337,557	4021,6856	1692,8656

Sumber: Hasil Perhitungan

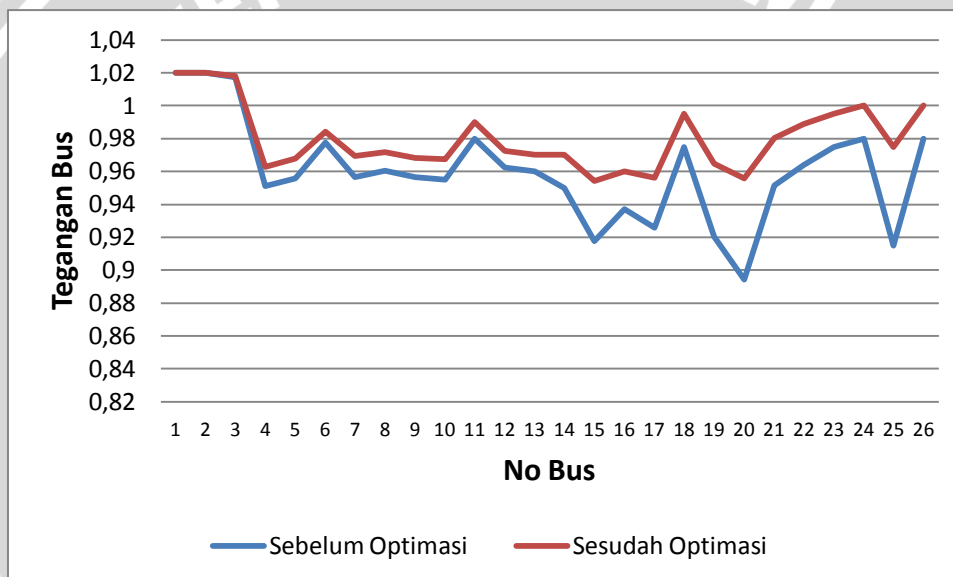
Tabel 4.15 menunjukkan hasil optimasi setelah dipasang SVC dengan metode *artificial bee colony algorithm* tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan terutama pada bus dengan tegangan kritis menjadi berada pada batas yang

dijinkan ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu). Hasil perbaikan pada bus – bus yang memiliki tegangan di bawah standar ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 100%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu) Sebelum Optimasi	Tegangan (pu) Sesudah Optimasi
15	Tasikmalaya	0,9178	0,9543
16	Bandung Selatan	0,9371	0,9599
17	Mandicaran	0,9257	0,9563
19	Ungaran	0,9205	0,9647
20	Pedan	0,8944	0,9559
25	Kediri	0,9178	0,9748

Sementara perbandingan perbaikan tegangan secara lengkap dapat dilihat pada grafik Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%

Dari Gambar 4.2 di atas dapat dilihat apabila tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan yang cukup signifikan setelah dilakukan pemasangan dua buah SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony*.

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi setelah dipasang SVC ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Rugi – rugi Daya pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pada Pembebanan 100%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,01153	-11,8152
2	2	3	0,80097	6,5900
3	2	6	21,1770	203,0030

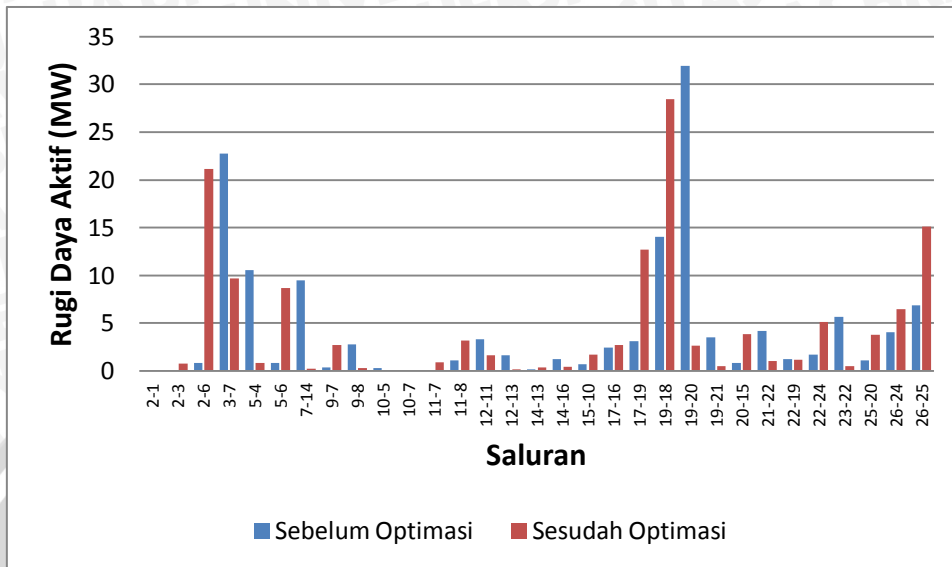
No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
4	3	7	9,71560	108,5840
5	5	4	0,81948	8,2868
6	5	6	8,69260	82,9537
7	7	14	0,24581	2,4228
8	9	7	2,68090	25,4052
9	9	8	0,29847	2,0737
10	10	5	0,01907	-4,3086
11	10	7	0,03999	-1,3275
12	11	7	0,89608	8,3518
13	11	8	3,19860	30,4458
14	12	11	1,63790	15,1766
15	12	13	0,15494	0,9042
16	14	13	0,37460	2,5364
17	14	16	0,44101	4,2535
18	15	10	1,68630	18,7716
19	17	16	2,68750	25,6018
20	17	19	12,70860	121,9840
21	19	18	28,42980	317,8430
22	19	20	2,62150	25,0163
23	19	21	0,50643	4,7984
24	20	15	3,84000	38,8909
25	21	22	1,02850	9,6107
26	22	19	1,17220	11,2089
27	22	24	5,15750	57,3429
28	23	22	0,51195	3,7485
29	25	20	3,78030	42,1621
30	26	24	6,45790	71,9074
31	26	25	15,13010	169,1280
TOTAL			136,55700	1401,5510

Sumber: Hasil Perhitungan

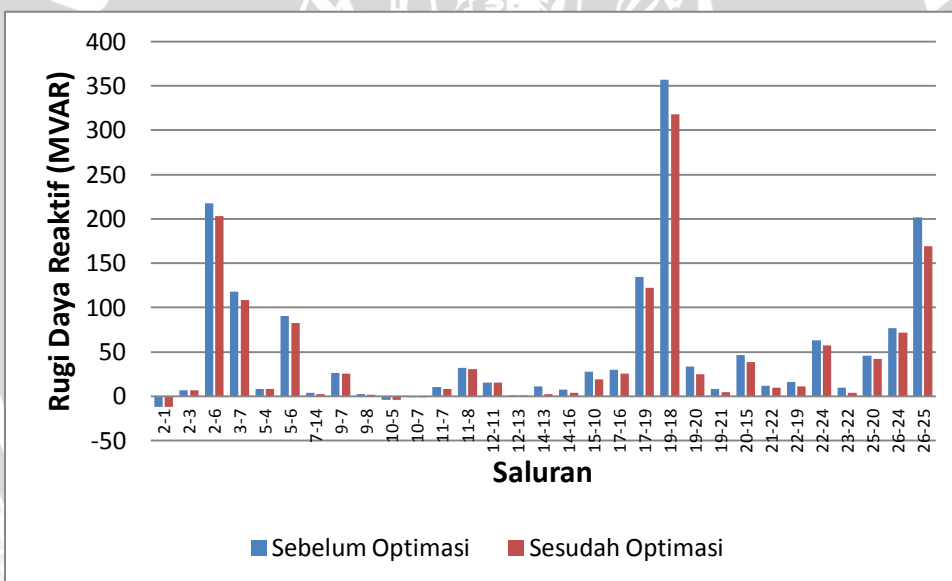
Terbukti setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya, baik aktif maupun reaktif masing – masing menjadi 136,557 MW dan 1401,551 MVAR. Di samping itu terjadi penurunan daya pembangkitan baik aktif maupun reaktif dari 12355,9534 MW dan 5908,1908 MVAR menjadi 12337,557 MW dan 4021,6856 MVAR

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.

Sesuai dengan tujuan pemasangan SVC, Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 masing – masing menunjukkan dampak injeksi daya reaktif SVC dalam hal penurunan rugi- rugi daya aktif dan daya reaktif secara keseluruhan.



Gambar 4.3 Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%



Gambar 4.4 Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%

Perbandingan nilai total rugi daya pada saluran sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV sebelum dan sesudah dipasang SVC dengan menggunakan metode *artificial bee colony* dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 100%

Rugi Daya	Sebelum Dipasang SVC	Sesudah Dipasang SVC <i>Artificial Bee Colony</i>
Nyata (MW)	154,9537	136,557
Reaktif (MVAR)	1595,1926	1401,551

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.18 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan rugi daya setelah dipasang SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony algorithm* dibandingkan sebelum dilakukan pemasangan sebesar masing 11,87% untuk daya aktif dan 12,14% untuk daya reaktif. Sementara prosentase rugi daya aktif terhadap total daya pembangkitan aktif sebelum optimasi ialah 1,25% turun menjadi 1,11%. Toleransi rugi daya yang diijinkan adalah maksimal 3% dari nilai total daya pembangkitan aktif. Sehingga nilai rugi daya sebesar 136,557 MW masih dalam batas yang diperbolehkan.

4.4.4 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 80%

Hasil *running load flow* optimasi penempatan SVC dengan metode *artificial bee colony* kedua diaplikasikan pada kondisi pembebanan 80%. Hasil *running load flow* setelah pemasangan SVC dengan metode ini ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 80%

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0200	-0,0052	68,8	27,2	0,0000	0,0000	0,0000
2	1,0200	0,0000	113,6	-44,8	2898,6259	925,3886	0,0000
3	1,0182	-0,3430	256,0	-111,2	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,9686	-6,1454	540,8	170,4	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,9725	-5,6042	581,6	37,6	0,0000	0,0000	0,0000
6	0,9885	-3,4805	508,8	202,4	0,0000	0,0000	0,0000
7	0,9724	-5,6306	378,4	280,0	0,0000	0,0000	131,1580
8	0,9697	-6,8691	274,4	77,6	0,0000	0,0000	0,0000
9	0,9683	-7,1846	877,6	63,2	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,9718	-5,6333	428,8	132,8	0,0000	0,0000	0,0000

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
11	0,9800	-5,1121	0,0	0,0	1080,8000	604,8266	0,0000
12	0,9690	-5,6588	532,8	370,4	0,0000	0,0000	0,0000
13	0,9700	-5,4033	520,0	216,0	292,0000	275,9487	0,0000
14	0,9700	-5,0630	0,0	0,0	517,6000	236,7311	0,0000
15	0,9624	-3,0672	109,6	38,4	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,9624	-4,9277	404	260,0	0,0000	0,0000	0,0000
17	0,9606	-2,9181	271,2	2,4	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,9950	10,2237	304	76,8	1908,0000	387,4386	0,0000
19	0,9679	3,1064	670,4	305,6	0,0000	0,0000	200,0000
20	0,9549	0,9187	504,8	344	0,0000	0,0000	200,0000
21	0,9873	4,4816	209,6	34,4	0,0000	0,0000	119,866
22	0,9888	5,5603	786,4	513,6	0,0000	0,0000	0,0000
23	0,9950	5,8042	116,8	16,8	472,0000	437,9882	0,0000
24	1,0000	7,8538	344,0	164,0	260,0000	463,4600	0,0000
25	0,9633	4,1863	484,0	157,6	0	0	27,6880
26	1,0000	10,553	474,4	115,2	2420,0000	285,4638	49,7367
TOTAL			9760,8	3450,4	9849,0259	3617,2477	728,4493

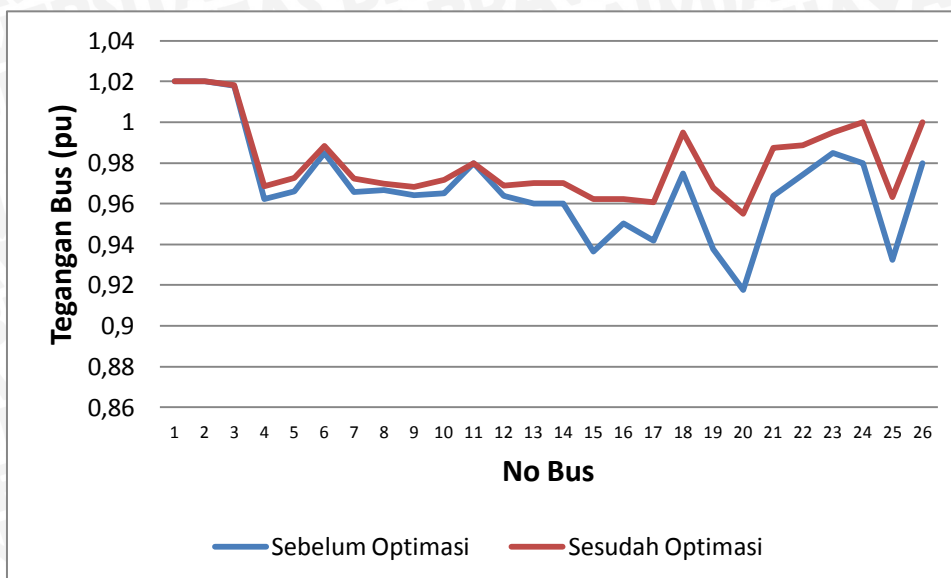
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.19 menunjukkan hasil optimasi setelah dipasang SVC dengan metode *artificial bee colony algorithm* tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan terutama pada bus tegangan kritis menjadi berada pada batas yang diijinkan ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu). Hasil perbaikan tegangan yang dihasilkan pada bus – bus *undervoltage* ditunjukkan pada Tabel 4.20 berikut.

Tabel 4.20 Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 80%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu) Sebelum Optimasi	Tegangan (pu) Sesudah Optimasi
15	Tasikmalaya	0,9364	0,9624
17	Mandicaran	0,9419	0,9606
19	Ungaran	0,9376	0,9679
20	Surabaya Barat	0,9175	0,9549
25	Kediri	0,9323	0,9633

Sementara perbandingan perbaikan tegangan secara lengkap dapat dilihat pada grafik Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Optimasi SVC Pada Pembebanan 80%

Dari Gambar 4.5 di atas dapat dilihat apabila tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan yang cukup signifikan setelah dilakukan pemasangan SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony*.

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi setelah dipasang SVC ditunjukkan pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Rugi – rugi Daya pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pada Kondisi Pembebanan 80%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,00073	-11,81940
2	2	3	0,51119	3,34780
3	2	6	13,73960	131,54600
4	3	7	6,35180	70,95110
5	5	4	0,51829	4,90790
6	5	6	5,67170	53,93490
7	7	14	0,18976	1,79480
8	9	7	1,71160	16,09130
9	9	8	0,16485	0,79143
10	10	5	0,02097	-4,33210
11	10	7	0,00459	-1,68080
12	11	7	0,23373	1,99010
13	11	8	1,90430	18,01460
14	12	11	0,78427	6,97840
15	12	13	0,07755	0,16666
16	14	13	0,24123	1,25510
17	14	16	0,25768	2,20080
18	15	10	1,16030	12,88630

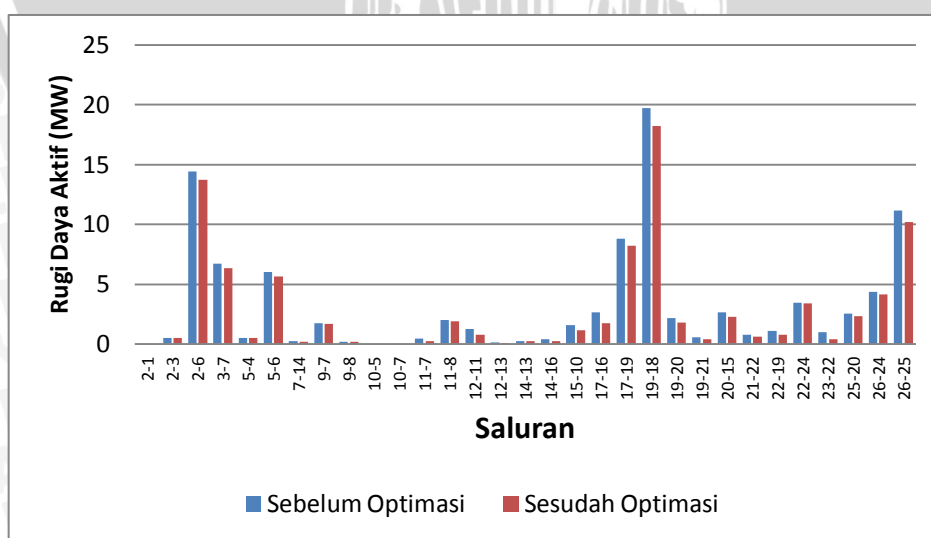
No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
19	17	16	1,74790	16,57240
20	17	19	8,29010	78,75450
21	19	18	18,24590	203,91400
22	19	20	1,79740	17,09840
23	19	21	0,42343	4,00030
24	20	15	2,29600	25,60090
25	21	22	0,62466	5,72930
26	22	19	0,78857	7,52270
27	22	24	3,39920	37,67320
28	23	22	0,43015	2,96270
29	25	20	2,35730	26,24440
30	26	24	4,17060	46,31850
31	26	25	10,19140	113,88000
TOTAL			88,2260	895,29700

Sumber: Hasil Perhitungan

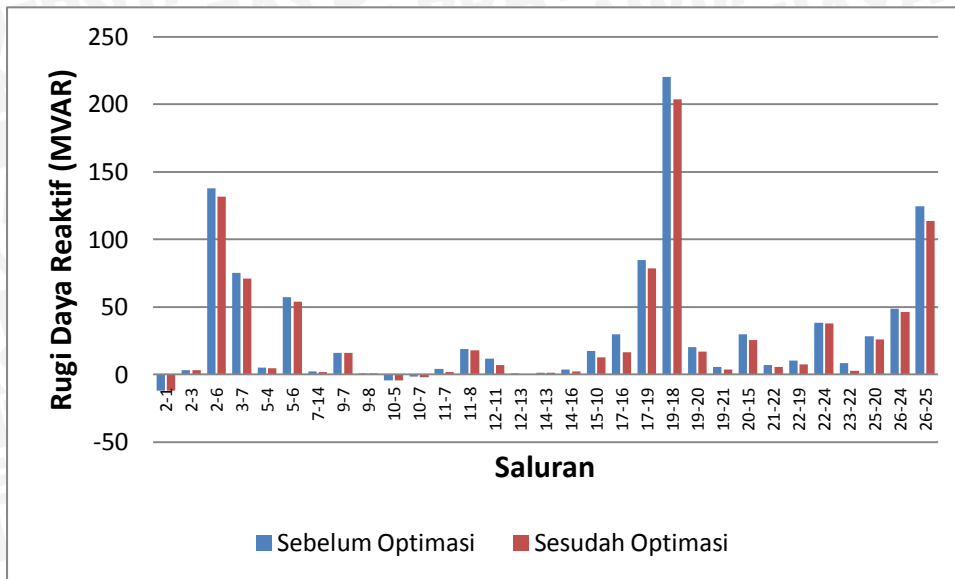
Terbukti setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya, baik aktif maupun reaktif masing – masing menjadi 88,226 MW dan 895,297 MVAR.

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.

Sesuai dengan tujuan pemasangan SVC, Gambar 4.6 dan 4.7 masing – masing menunjukkan dampak injeksi daya reaktif SVC dalam hal penurunan rugi- rugi daya aktif dan reaktif secara keseluruhan.



Gambar 4.6 Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%



Gambar 4.7 Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%

Perbandingan nilai total rugi daya pada saluran sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV sebelum dan sesudah dipasang SVC dengan menggunakan metode *artificial bee colony* dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 80%

Rugi Daya	Sebelum Dipasang SVC	Sesudah Dipasang SVC <i>Artificial Bee Colony</i>
Nyata (MW)	96,8666	88,2260
Reaktif (MVAR)	985,3328	895,297

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.22 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan rugi daya setelah dipasang SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony algorithm* dibandingkan sebelum dilakukan pemasangan sebesar masing 8,92 % untuk daya aktif dan 9,14% untuk daya reaktif. Sementara prosentase rugi daya aktif terhadap total daya pembangkitan aktif sebelum optimasi ialah 0,983% turun menjadi 0,7%. Toleransi rugi daya yang diijinkan adalah maksimal 3% dari nilai total daya pembangkitan aktif. Sehingga nilai rugi daya sebesar 88,226 MW masih dalam batas yang diperbolehkan.

4.4.4 Hasil Optimasi SVC Pada Kondisi Pembebanan 60%

Hasil *running load flow* optimasi penempatan SVC dengan metode *artificial bee colony* ketiga diaplikasikan pada kondisi pembebanan 60%. Hasil *running load flow* setelah pemasangan SVC dengan metode ini ditunjukkan pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 60%

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0200	-0,0039	51,6	20,4	0,0000	0,0000	0,000
2	1,0200	0,0000	85,2	-33,6	2157,449	684,6112	0,000
3	1,0186	-0,2549	192,0	-83,4	0,0000	0,0000	0,000
4	0,9809	-4,5059	405,6	127,8	0,0000	0,0000	0,000
5	0,9838	-4,1133	436,2	28,2	0,0000	0,0000	0,000
6	0,9963	-2,5686	381,6	151,8	0,0000	0,0000	0,000
7	0,9830	-4,1265	283,8	210,0	0,0000	0,0000	0,000
8	0,9818	-5,0367	205,8	58,2	0,0000	0,0000	0,000
9	0,9806	-4,1326	658,2	47,4	0,0000	0,0000	0,000
10	0,9832	-3,7507	321,6	99,6	0,0000	0,0000	0,000
11	0,9900	-3,7507	0,0	0,0	810,600	530,6720	0,000
12	0,9806	-4,1424	399,6	277,8	0,0000	0,0000	0,000
13	0,9800	-3,9457	390,0	162,0	219,000	104,8560	53,683
14	0,9800	-3,6948	0,0	0,0	388,200	94,1605	80,849
15	0,9788	-2,2424	82,2	28,8	0,0000	0,0000	100,000
16	0,9738	-2,0871	303,0	195,0	0,0000	0,0000	0,000
17	0,9707	-2,0871	203,4	1,8	0,0000	0,0000	0,000
18	0,9950	7,7186	228,0	57,6	1431,000	313,7916	0,000
19	0,9715	2,4156	502,8	229,2	0,0000	0,0000	0,000
20	0,9648	0,7773	378,6	258,0	0,0000	0,0000	100,000
21	0,9875	3,4251	157,2	25,8	0,0000	0,0000	100,000
22	0,9884	4,2334	589,8	385,2	0,0000	0,0000	0,000
23	0,9950	4,4045	87,6	12,6	354,000	474,6818	0,000
24	0,9900	6,0025	258,0	123,0	195,000	188,2816	0,000
25	0,9722	3,2093	363,0	118,2	0,0000	0,0000	100,000
26	0,9900	8,0612	355,8	86,4	1815,000	152,2735	0,000
TOTAL			7320,6	2587,8	7370,249	2543,3285	534,532

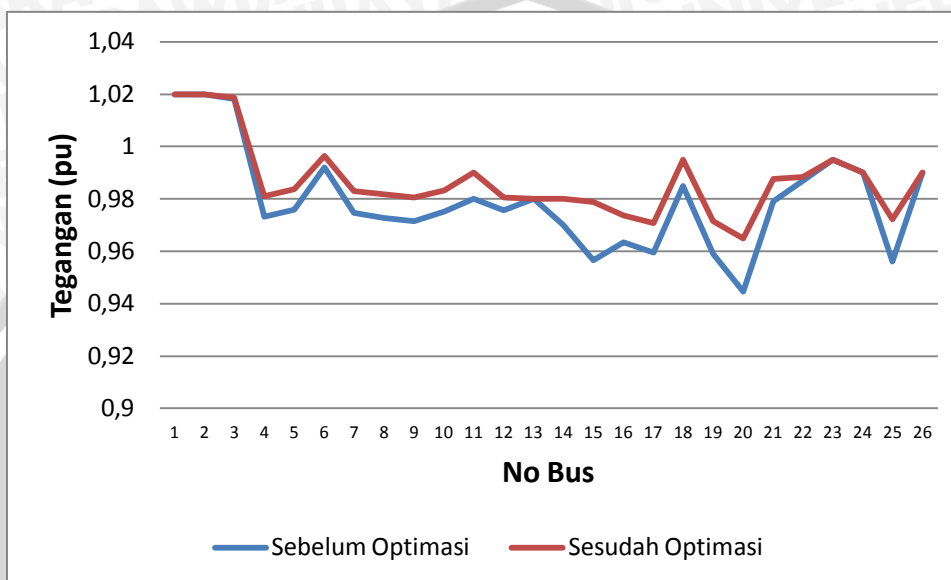
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.23 menunjukkan hasil optimasi setelah dipasang SVC dengan metode *artificial bee colony algorithm* tegangan pada masing – masing *bus* mengalami kenaikan terutama pada *bus* tegangan kritis menjadi berada pada batas yang diijinkan ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu). Hasil perbaikan tegangan yang dihasilkan pada *bus undervoltage* ditunjukkan pada Tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24 Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Kondisi Pembebanan 60%

No Bus	Nama Bus	Tegangan (pu) Sebelum Optimasi	Tegangan (pu) Sesudah Optimasi
20	Surabaya Barat	0,9447	0,9648

Sementara perbandingan perbaikan tegangan secara lengkap dapat dilihat pada grafik Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Profil Tegangan Sebelum dan Setelah Optimasi SVC Pada Pembebanan 60%

Dari Gambar 4.8 di atas dapat dilihat apabila tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan yang cukup signifikan setelah dilakukan pemasangan SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony*.

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi setelah dipasang SVC ditunjukkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Rugi – rugi Daya pada Saluran Transmisi Jawa – Bali 500 kV Setelah Optimasi Pada Kondisi Pembebanan 60%

No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	2	1	0,00041	-11,82270
2	2	3	0,28350	0,79964
3	2	6	7,58860	72,44370
4	3	7	3,52450	39,32050
5	5	4	0,28422	2,26740
6	5	6	3,12840	29,49810
7	7	14	0,12298	1,04070
8	9	7	0,93545	8,62600
9	9	8	0,09265	0,07777
10	10	5	0,01419	-4,50390

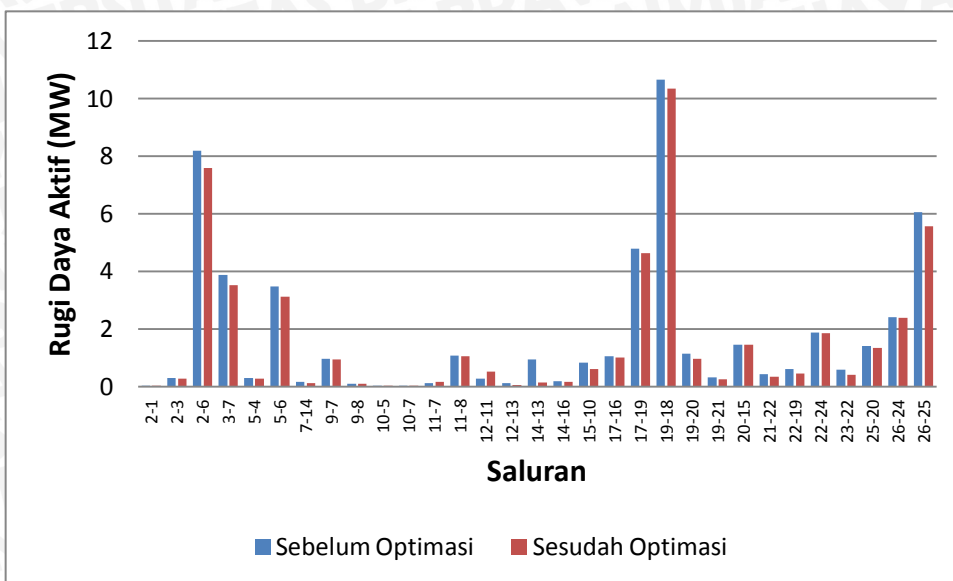
No Saluran	Saluran		Rugi – rugi Daya	
	Dari	Ke	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
11	10	7	0,00040	-1,76020
12	11	7	0,15629	1,24060
13	11	8	1,06000	9,89650
14	12	11	0,50996	4,32910
15	12	13	0,04607	-0,14703
16	14	13	0,13376	0,20051
17	14	16	0,16996	1,20430
18	15	10	0,60134	6,62940
19	17	16	1,00820	9,46070
20	17	19	4,62930	44,35980
21	19	18	10,34100	115,48200
22	19	20	0,96216	9,07120
23	19	21	0,25350	2,36740
24	20	15	1,45960	16,24040
25	21	22	0,34975	3,08820
26	22	19	0,45038	4,27340
27	22	24	1,86000	20,45960
28	23	22	0,40323	2,70460
29	25	20	1,34380	14,90340
30	26	24	2,37790	26,27030
31	26	25	5,55750	62,03940
TOTAL			49,64910	490,06100

Sumber: Hasil Perhitungan

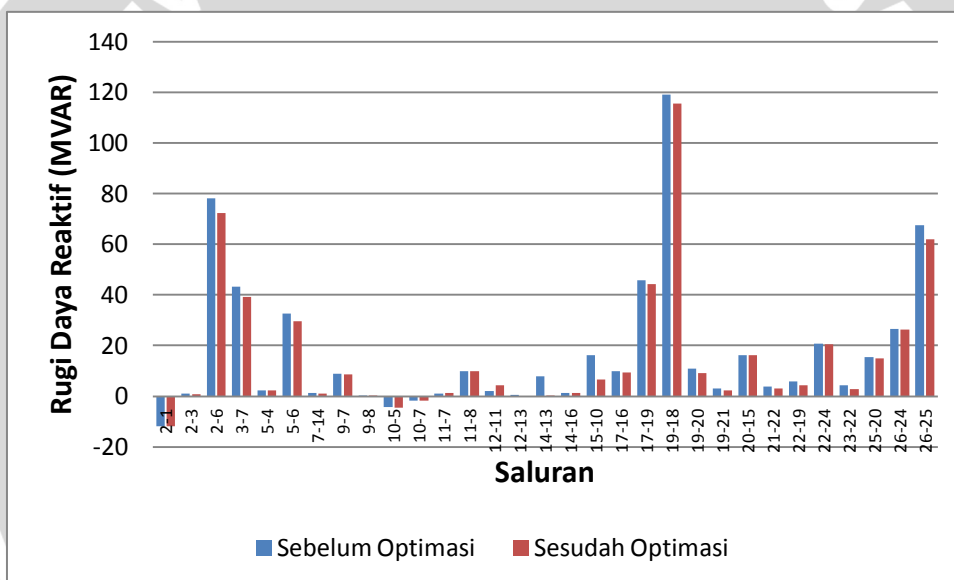
Terbukti setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya, baik aktif maupun reaktif masing – masing menjadi 49,6491 MW dan 490,061 MVAR.

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.

Sesuai dengan tujuan pemasangan SVC, Gambar 4.9 dan 4.10 masing – masing menunjukkan dampak injeksi daya reaktif SVC dalam hal penurunan rugi- rugi daya aktif dan reaktif secara keseluruhan.



Gambar 4.9 Rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%



Gambar 4.10 Rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%

Perbandingan nilai total rugi daya pada saluran sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV sebelum dan sesudah dipasang SVC dengan menggunakan metode *artificial bee colony* dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pada Pembebanan 60%

Rugi Daya	Sebelum Dipasang SVC	Sesudah Dipasang SVC <i>Artificial Bee Colony</i>
Nyata (MW)	53,6165	49,6491
Reaktif (MVAR)	530,8466	490,061

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.26 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan rugi daya setelah dipasang SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony algorithm* dibandingkan sebelum dilakukan pemasangan sebesar masing 7,39% untuk daya aktif dan 7,68% untuk daya reaktif. Sementara prosentase rugi daya aktif terhadap total daya pembangkitan aktif sebelum optimasi ialah 0,727% turun menjadi 0,67%. Toleransi rugi daya yang diijinkan adalah maksimal 3% dari nilai total daya pembangkitan aktif. Sehingga nilai rugi daya sebesar 49,6491 MW masih dalam batas yang diperbolehkan

Dari ketiga jenis tipe pembebanan tersebut dapat diketahui apabila semakin tinggi pembebanan maka besar kapasitas SVC untuk injeksi daya reaktif semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.27 di bawah ini.

Tabel 4.27 Perbandingan Kapasitas SVC Pada Masing – Masing Pembebanan

Tipe Pembebanan	Kapasitas SVC yang Dibutuhkan
100% (Penuh)	1692,8656MVAR
80% (Rata – rata)	728,449 MVAR
60% (Rendah)	534,532 MVAR

Sumber: Hasil Perhitungan

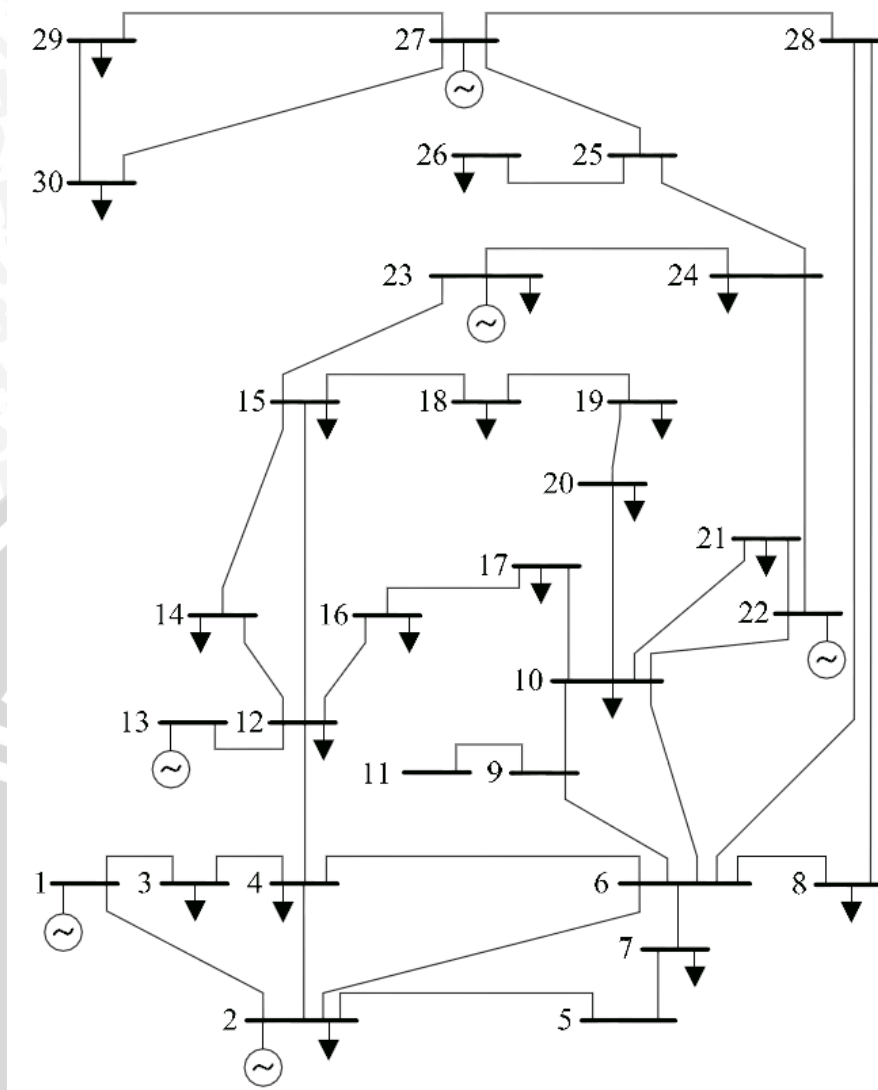
4.5 Data Validasi

Sebagai validasi, data yang digunakan adalah data sistem standar IEEE 30 bus. Sumber data tersebut diambil dari jurnal *Electric Power System and Research* (Shaaban, 2003:181-188)

4.5.1 Data Bus IEEE-30 Bus

Data sistem transmisi yang digunakan terdiri atas 30 bus, 41 saluran, dan 6 pusat pembangkit yang terhubung ke bus –bus beban melalui saluran transmisi.

Gambar *Single line diagram* sistem standar IEEE 30 Bus dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11: *Single Line Diagram* Sistem IEEE-30 Bus (Shaaban, 2003)

4.5.2 Data Saluran

Data saluran pada sistem standar IEEE-30 Bus yang digunakan pada skripsi ini berjumlah 41 saluran dengan rincian ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Data Saluran Sistem Standar IEEE 30 Bus

No	Dari Bus	Ke Bus	Impedansi Saluran		1/2 B (pu)	Tap Setting
			R	X		
1	1	2	0,02	0,06	0,03	1
2	1	3	0,05	0,20	0,02	1
3	2	4	0,06	0,18	0,02	1
4	3	4	0,01	0,04	0,00	1
5	2	5	0,05	0,20	0,00	1
6	2	6	0,06	0,18	0,02	1
7	4	6	0,01	0,04	0,00	1
8	5	7	0,05	0,12	0,01	1
9	6	7	0,03	0,08	0,00	1

No	Dari Bus	Ke Bus	Impedansi Saluran		1/2 B (pu)	Tap Setting
			R	X		
10	6	8	0,01	0,04	0,00	1
11	6	9	0,00	0,21	0,00	1
12	6	10	0,00	0,56	0,00	1
13	9	11	0,00	0,21	0,00	1
14	9	10	0,00	0,11	0,00	1
15	4	12	0,00	0,23	0,00	1
16	12	13	0,00	0,14	0,00	1
17	12	14	0,12	0,26	0,00	1
18	12	15	0,07	0,13	0,00	1
19	12	16	0,09	0,20	0,00	1
20	14	15	0,22	0,20	0,00	1
21	16	17	0,08	0,19	0,00	1
22	15	18	0,11	0,22	0,00	1
23	18	19	0,06	0,13	0,00	1
24	19	20	0,03	0,07	0,00	1
25	10	20	0,09	0,21	0,00	1
26	10	17	0,03	0,09	0,00	1
27	10	21	0,03	0,08	0,00	1
28	10	22	0,07	0,15	0,00	1
29	21	22	0,01	0,22	0,00	1
30	15	23	0,10	0,22	0,00	1
31	22	24	0,11	0,18	0,00	1
32	23	24	0,13	0,27	0,00	1
33	24	25	0,19	0,33	0,00	1
34	25	26	0,25	0,38	0,00	1
35	25	27	0,11	0,21	0,00	1
36	28	27	0,00	0,40	0,00	1
37	27	29	0,22	0,40	0,00	1
38	27	30	0,32	0,60	0,00	1
39	29	30	0,24	0,45	0,00	1
40	8	28	0,06	0,20	0,02	1
41	6	28	0,07	0,06	0,01	1

Sumber: Shaaban, 2003

4.5.3 Data Pembebanan

Berikut merupakan data pembebanan bus pada sistem standar IEEE 30 Bus yang terdiri atas no bus, kode bus, tegangan bus, sudut, dan daya pembebanan baik daya aktif maupun reaktifnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.29

Tabel 4.29 Data Pembebanan Sistem Standar IEEE 30 Bus

No Bus	Kode Bus	Tegangan	Sudut	Pembebanan	
				Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	1	1	0	0,000	0,0
2	2	1	0	21,700	12,7

No Bus	Kode Bus	Tegangan	Sudut	Pembebanan	
				Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
3	0	1	0	2,400	1,2
4	0	1	0	7,600	1,6
5	0	1	0	0,000	0,0
6	0	1	0	0,000	0,0
7	0	1	0	22,800	10,9
8	0	1	0	30,000	30,0
9	0	1	0	0,000	0,0
10	0	1	0	5,900	2,0
11	0	1	0	0,000	0,0
12	0	1	0	11,200	7,5
13	2	1	0	0,000	0,0
14	0	1	0	6,200	1,6
15	0	1	0	8,200	2,5
16	0	1	0	3,500	1,8
17	0	1	0	9,000	5,8
18	0	1	0	3,200	0,9
19	0	1	0	9,500	34
20	0	1	0	2,200	0,7
21	0	1	0	19,669	11,2
22	2	1	0	0,000	0,0
23	2	1	0	3,200	1,6
24	0	1	0	15,000	6,7
25	0	1	0	1,000	0,0
26	0	1	0	3,500	2,3
27	2	1	0	0,000	0,0
28	0	1	0	0,000	0,0
29	0	1	0	3,659	0,9
30	0	1	0	12,000	1,9

Sumber: Shaaban, 2003

4.5.4 Data Pembangkitan

Adapun data daya yang dibangkitkan masing – masing pembangkitan pada sistem standar IEEE 30 Bus ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Data Pembangkitan Sistem Standar IEEE 30 Bus

No	No Bus	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
1	Bus 1	24,963	-4,638
2	Bus 2	60,970	27,677
3	Bus 13	37,000	13,949
4	Bus 22	31,590	40,340
5	Bus 23	22,200	8,130

No	No Bus	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)
6	Bus 27	28,910	10,970

Sumber: Shaaban, 2003

4.6 Analisis Aliran Daya Sistem Standar IEEE 30 Bus

Sama halnya seperti pada sistem transmisi 500 kV Jawa –Bali, penyelesaian analisis aliran daya pada sistem ini menggunakan metode *Newton – Raphson* yang didasarkan pada:

1. Base Tegangan = 150 kV
2. Base Daya = 100 MVA
3. Akurasi = 0,001
4. Maksimum Iterasi = 200

Klasifikasi bus pada sistem IEEE 30 Bus ialah:

1. *Slack bus* = bus 1
2. *Bus Generator* = bus 2,13, 22, 23, dan 27
3. *Bus Beban* = bus 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 28, 29, dan 30

Setelah dilakukan *load flow* menggunakan *Newton – Raphson*, diperoleh hasil analisis aliran daya sebelum pemasangan SVC ditunjukkan pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hasil Analisis Aliran Daya Sistem Standar IEEE-30 Bus dengan Metode *Newton – Raphson* Sebelum Pemasangan SVC

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	1,0000	0,0000	0,000	0,0	25,0348	-1,8903	0
2	1,0000	-0,4036	21,700	12,7	60,9700	35,8878	0
3	0,9799	-1,5029	2,400	1,2	0,0000	0,0000	0
4	0,9759	-1,7490	7,600	1,6	0,0000	0,0000	0
5	0,9792	-1,8172	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0
6	0,9681	-2,1858	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0
7	0,9629	-2,5883	22,800	10,9	0,0000	0,0000	0
8	0,9559	-2,6767	30,000	30,0	0,0000	0,0000	0
9	0,9614	-2,8022	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0
10	0,9579	-3,1284	5,900	2,0	0,0000	0,0000	0
11	0,9614	-2,8022	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0
12	0,9739	-2,4498	11,200	7,5	0,0000	0,0000	0

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
13	1,0000	1,5498	0,000	0,0	37,0000	19,7697	0
14	0,9602	-2,1870	6,200	1,6	0,0000	0,0000	0
15	0,9602	-1,9774	8,200	2,5	0,0000	0,0000	0
16	0,9589	-2,5247	3,500	1,8	0,0000	0,0000	0
17	0,9522	-3,2025	9,000	5,8	0,0000	0,0000	0
18	0,9115	-2,3120	3,200	0,9	0,0000	0,0000	0
19	0,8866	-2,3234	9,500	34	0,0000	0,0000	0
20	0,9034	-2,5065	2,200	0,7	0,0000	0,0000	0
21	0,9598	-3,6999	19,669	11,2	0,0000	0,0000	0
22	1,0000	-2,4397	0,000	0,0	31,5900	43,8930	0
23	1,0000	-1,3428	3,200	1,6	22,2000	16,5398	0
24	0,9848	-2,4924	15,000	6,7	0,0000	0,0000	0
25	0,9880	-1,8581	1,000	0,0	0,0000	0,0000	0
26	0,9699	-2,3094	3,500	2,3	0,0000	0,0000	0
27	1,0000	-1,0623	0,000	0,0	28,9100	12,6898	0
28	0,9709	-2,3256	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0
29	0,9762	-2,6654	3,659	0,9	0,0000	0,0000	0
30	0,9637	-3,6721	12,000	1,9	0,0000	0,0000	0
TOTAL			201,428	137,8	205,7048	126,8897	0

Sumber: Hasil Perhitungan

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.32 berikut.

Tabel 4.32 Rugi Daya Aktif dan Reaktif Sebelum Pemasangan SVC

No Saluran	Dari	Ke	Rugi Daya	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	1	2	0,0248	-5,9255
2	1	3	0,1268	-3,4131
3	2	4	0,1864	-3,3457
4	3	4	0,0197	0,0790
5	2	5	0,1213	0,4851
6	2	6	0,3262	-2,8957
7	4	6	0,0687	0,2746
8	5	7	0,1284	-1,5779
9	6	7	0,0297	0,0792
10	6	8	0,1255	0,5021
11	6	9	0,0000	0,0724

No Saluran	Dari	Ke	Rugi Daya	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
12	6	10	0,0000	0,0630
13	9	11	0,0000	0,0000
14	9	10	0,0000	0,0379
15	4	12	0,0000	0,0100
16	12	13	0,0000	2,4648
17	12	14	0,0463	0,1002
18	12	15	0,0792	0,1471
19	12	16	0,0963	0,2139
20	14	15	0,0031	0,0028
21	16	17	0,0325	0,0772
22	15	18	0,4371	0,8741
23	18	19	0,1807	0,3915
24	19	20	0,1572	0,3667
25	10	20	0,5240	1,2226
26	10	17	0,0112	0,0337
27	10	21	0,0390	0,1040
28	10	22	0,4869	1,0433
29	21	22	0,0429	0,9435
30	15	23	0,2914	0,6412
31	22	24	0,0572	0,0936
32	23	24	0,0908	0,1886
33	24	25	0,0170	0,0295
34	25	26	0,0466	0,0708
35	25	27	0,0653	0,1247
36	28	27	0,0000	0,3284
37	27	29	0,1405	0,2555
38	27	30	0,2295	0,4302
39	29	30	0,0411	0,0772
40	8	28	0,0358	-3,5943
41	6	28	0,0117	-1,8699
TOTAL			4,3206	-10,7938

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.31 didapatkan hasil *load flow* bahwa tidak semua tegangan *bus* pada sistem standar IEEE- 30 *Bus* berada pada nilai standar yang diharapkan yaitu $0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu. *Bus – bus* dengan tegangan di luar batas standar tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 *Bus – bus* Dengan Tegangan yang Tidak Sesuai Standar

No Bus	Tegangan (pu)	Kondisi
18	0,91147	<i>Undervoltage</i>

No Bus	Tegangan (pu)	Kondisi
19	0,88663	Undervoltage
20	0,90349	Undervoltage

Sementara pada Tabel 4.32 dapat kita ketahui bahwa rugi daya, baik daya aktif maupun reaktif pada sistem standar IEEE 30 Bus masing – masing sebesar 4,3206 MW dan -10,7938 MVAR.

Simulasi yang dilakukan pada data validasi ini yaitu dengan meletakkan dua buah *Static VAR Compensator (SVC)* pada sistem transmisi pada lokasi sembarang bus serta kapasitas pada range 0 sampai dengan 100 MVAR. Hasil *running load flow* setelah pemasangan SVC dengan metode ini ditunjukkan pada Tabel 4.34 berikut ini.

Tabel 4.34 Hasil *Running Load Flow* Setelah Pemasangan Dua Buah SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm*

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR
			MW	MVAR	MW	MVAR	Injeksi
1	1,00000	0,000	0,000	0,0	23,5431	-5,6410	0,000
2	1,00000	-0,3692	21,700	12,7	60,9700	1,5969	0,000
3	0,98832	-1,5350	2,400	1,2	0,0000	0,0000	0,000
4	0,98600	-1,7855	7,600	1,6	0,0000	0,0000	0,000
5	1,02230	-2,4724	0,000	0,0	0,0000	0,0000	36,996
6	0,98152	-2,2463	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0,000
7	0,98852	-2,8457	22,800	10,9	0,0000	0,0000	0,000
8	0,96943	-2,7094	30,000	30,0	0,0000	0,0000	0,000
9	0,97895	-2,8246	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0,000
10	0,97764	-3,1287	5,900	2,0	0,0000	0,0000	0,000
11	0,97895	-2,8246	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0,000
12	0,98603	-1,4147	11,200	7,5	0,0000	0,0000	0,000
13	1,00000	1,5966	0,000	0,0	37,0000	10,9494	0,000
14	0,97745	-2,1403	6,200	1,6	0,0000	0,0000	0,000
15	0,98149	-2,1059	8,200	2,5	0,0000	0,0000	0,000
16	0,97453	-2,4720	3,500	1,8	0,0000	0,0000	0,000
17	0,97076	-3,1808	9,00	5,8	0,0000	0,0000	0,000

NO	Tegangan (pu)	Sudut (derajat)	Beban		Pembangkitan		MVAR Injeksi
			MW	MVAR	MW	MVAR	
18	0,97328	-3,4255	3,200	0,9	0,0000	0,0000	0,000
19	0,97271	-3,9899	9,500	34,0	0,0000	0,0000	36,971
20	0,97271	-3,8340	2,200	0,7	0,0000	0,0000	0,000
21	0,97462	-3,5068	19,669	11,2	0,0000	0,0000	0,000
22	1,00000	-2,0715	0,000	0,0	31,5900	24,6350	0,000
23	1,00000	-0,9617	3,200	1,6	22,2000	6,9383	0,000
24	0,98482	-2,1587	15,000	6,7	0,0000	0,0000	0,000
25	0,98803	-1,6482	1,000	0,0	0,0000	0,0000	0,000
26	0,96997	-2,0996	3,500	2,3	0,0000	0,0000	0,000
27	1,00000	-0,9284	0,000	0,0	28,9100	9,9196	0,000
28	0,98314	-2,2905	0,000	0,0	0,0000	0,0000	0,000
29	0,97618	-2,5314	3,659	0,9	0,0000	0,0000	0,000
30	0,96371	-3,5382	12,000	1,9	0,0000	0,0000	0,000
TOTAL			201,428	137,8	204,2131	48,3981	72,967

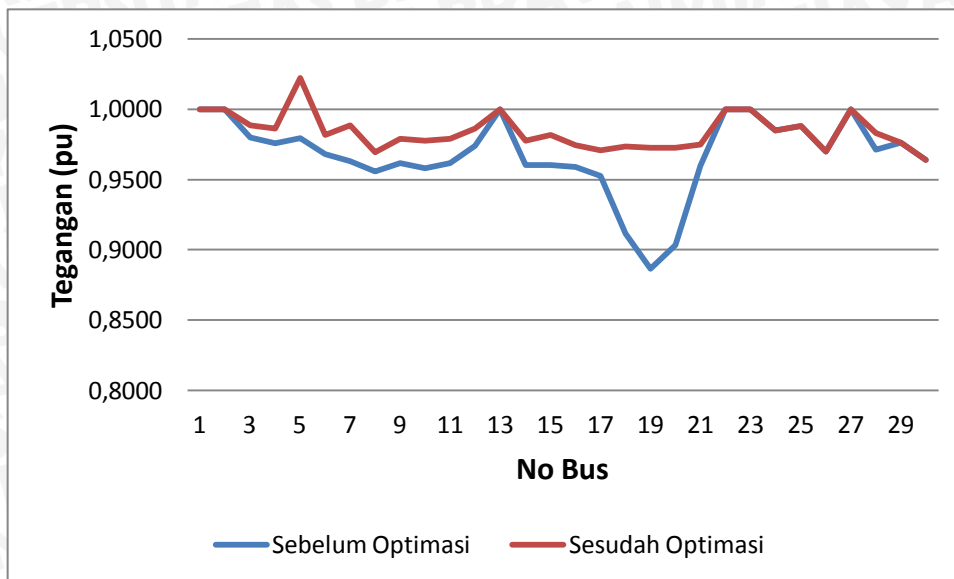
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.34 menunjukkan hasil optimasi setelah dipasang SVC dengan metode *artificial bee colony algorithm* tegangan pada masing – masing bus mengalami kenaikan terutama pada bus tegangan kritis menjadi berada pada batas yang diijinkan ($0,95 \leq V_{bus} \leq 1,05$ pu). Hasil perbaikan tegangan yang dihasilkan pada bus – bus *undervoltage* ditunjukkan pada Tabel 4.35 berikut.

Tabel 4.35 Perbaikan Tegangan *Undervoltage* Menggunakan Metode Optimasi *Artificial Bee Colony Algorithm* Dengan Dua SVC

No Bus	Tegangan (pu) Sebelum Optimasi	Tegangan (pu) Sesudah Optimasi
18	0,91147	0,97328
19	0,88663	0,97271
20	0,90349	0,97271

Perubahan level tegangan secara lebih rinci ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Profil Tegangan Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC

Sementara untuk hasil rugi – rugi daya masing – masing saluran transmisi ditunjukkan pada Tabel 4.36 di bawah ini.

Tabel 4.36 Rugi Daya Aktif dan Reaktif Sesudah Pemasangan Dua SVC

No Saluran	Dari	Ke	Rugi Daya	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
1	1	2	0,0208	-5,9377
2	1	3	0,0995	-3,5555
3	2	4	0,1331	-3,3452
4	3	4	0,0141	0,0564
5	2	5	0,2205	0,8821
6	2	6	0,2325	-3,2294
7	4	6	0,0486	0,1945
8	5	7	0,3500	-1,1822
9	6	7	0,0638	0,1701
10	6	8	0,1226	0,4905
11	6	9	0,0000	0,0498
12	6	10	0,0000	0,0433
13	9	11	0,0000	0,0000
14	9	10	0,0000	0,0261
15	4	12	0,0000	0,0177
16	12	13	0,0000	2,0845
17	12	14	0,0334	0,0724
18	12	15	0,0518	0,0963
19	12	16	0,0860	0,1910
20	14	15	0,0042	0,0038
21	16	17	0,0299	0,0711
22	15	18	0,1040	0,2088
23	18	19	0,0272	0,0588
24	19	20	0,0037	0,0087

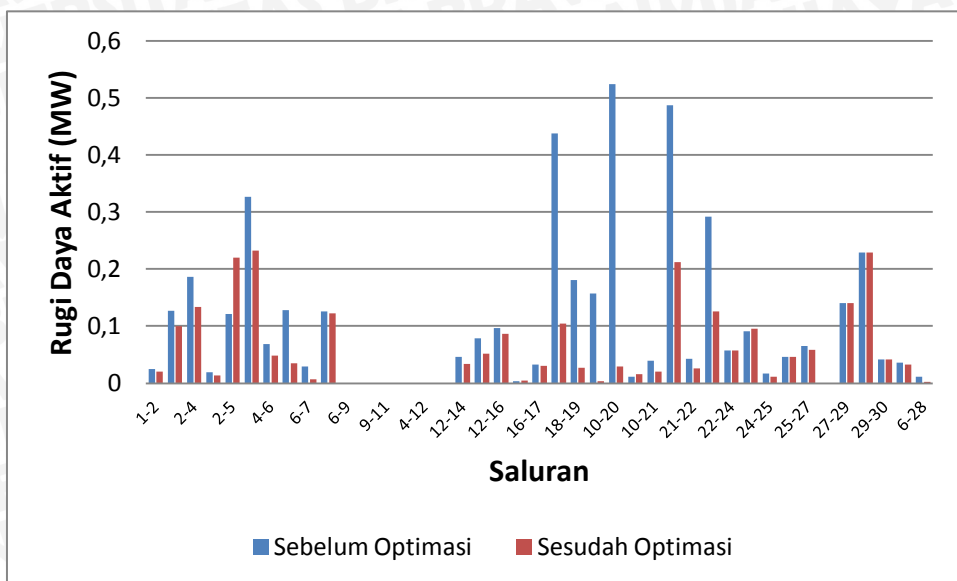
No Saluran	Dari	Ke	Rugi Daya	
			Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
25	10	20	0,0290	0,0677
26	10	17	0,0161	0,0482
27	10	21	0,0208	0,0555
28	10	22	0,2127	0,4558
29	21	22	0,0259	0,5696
30	15	23	0,1257	0,2765
31	22	24	0,0575	0,0941
32	23	24	0,0956	0,1985
33	24	25	0,0115	0,0199
34	25	26	0,0466	0,0708
35	25	27	0,0586	0,1187
36	28	27	0,0000	0,2100
37	27	29	0,1405	0,2555
38	27	30	0,2295	0,4302
39	29	30	0,0411	0,0772
40	8	28	0,0329	-3,7040
41	6	28	0,0026	-1,9277
TOTAL			2,7927	-15,2076

Sumber: Hasil Perhitungan

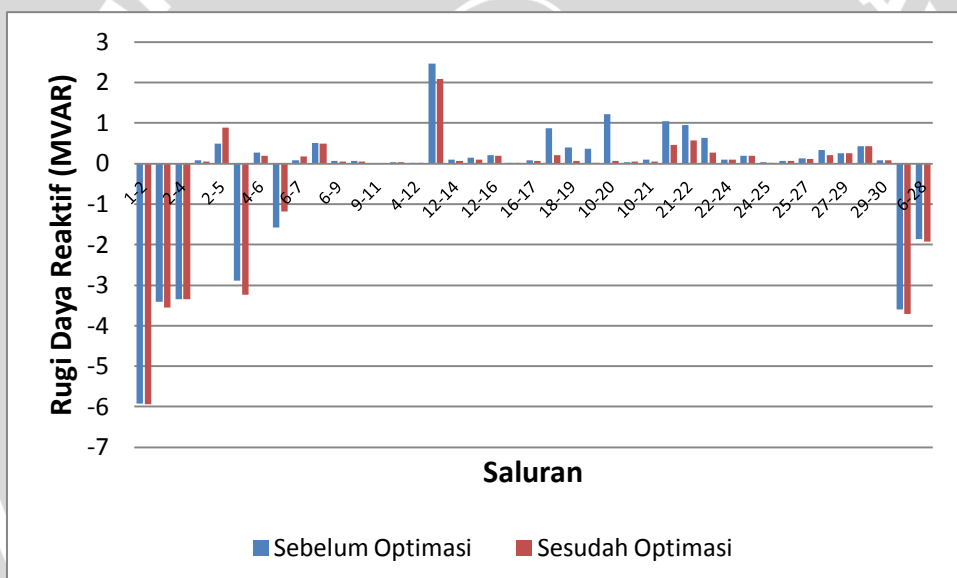
Terbukti setelah pemasangan SVC didapatkan penurunan rugi daya aktif menjadi 2,7927MW. Namun terjadi kenaikan rugi daya reaktif menjadi -15,2076 MVAR. Di samping itu terjadi penurunan daya pembangkitan baik aktif maupun reaktif dari 205,7048 MW dan 126,8897 MVAR menjadi 204,2131 MW dan 48,3981 MVAR

Besar daya reaktif yang diinjeksi dan posisi paling optimal yang diperoleh dari metode *artificial bee colony algorithm* masing – masing adalah 36,996 MVAR pada bus 5 dan 36,971 MVAR pada bus 19.

Sesuai dengan tujuan pemasangan SVC, Gambar 4.13 dan 4.14 masing – masing menunjukkan dampak setelah dilakukan pemasangan SVC sebanyak dua buah dalam hal penurunan rugi- rugi daya aktif secara keseluruhan.



Gambar 4.13 Rugi –rugi Daya Aktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC



Gambar 4.14 Rugi –rugi Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC

Perbandingan nilai total rugi daya pada saluran sistem standar IEEE 30 Bus sebelum dan sesudah dipasang SVC dengan menggunakan metode *artificial bee colony* dapat dilihat pada Tabel 4.37.

Tabel 4.37 Perbandingan Rugi – rugi Daya Sebelum dan Sesudah Optimasi Pemasangan Dua SVC

Rugi Daya	Sebelum Dipasang SVC	Sesudah Dipasang SVC <i>Artificial Bee Colony</i>
Nyata (MW)	4,3206	2,7927
Reaktif (MVAR)	-10,7938	-15,2076

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4.37 menunjukkan bahwa terdapat pengurangan rugi daya setelah dipasang SVC dengan menggunakan metode optimasi *artificial bee colony algorithm* dibandingkan sebelum dilakukan pemasangan sebesar masing 35,36 %. Sementara untuk daya reaktif mengalami penurunan sebesar 40,9%. Namun pada skripsi ini, pemasangan SVC sebagai injeksi daya reaktif hanya dikhususkan untuk mengurangi rugi –rugi daya aktif pada saluran transmisi.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Artificial bee colony algorithm* merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi posisi dan kapasitas SVC pada sistem transmisi Jawa – Bali 500 kV. Pada pembebanan 100% didapatkan hasil untuk kapasitas dan posisi masing – masing ialah 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. Untuk pembebanan 80%, kapasitas penggunaan SVC berkurang menjadi 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. Sedangkan untuk pembebanan 60% kapasitas serta posisi dari SVC ialah 53,683 MVAR pada bus 13, 80,849 MVAR pada bus 14, 100 MVAR pada bus 15, 20, 21, dan 25. Pemasangan SVC terbukti mampu mengatasi permasalahan tegangan, khususnya *undervoltage*, 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. Sebelum pemasangan sebesar 154,9573 MW dan 1592,1926 MVAR masing - masing menjadi 136,557 MW dan 1401,551 MVAR untuk pembebanan 100%, atau turun 11,87% dan 12,14 %. Sedangkan untuk pembebanan 80%, rugi daya baik aktif maupun reaktif turun dari 96,8666 MW dan 985,3328 menjadi 88,2260 MW dan 895,297 MVAR atau turun sebesar 8,92% dan 9,14%. Sementara pada pembebanan 60%, rugi daya baik aktif maupun reaktif turun dari 53,6165 MW dan 530,8466 MVAR menjadi 49,6491 MW dan 490,061MVAR atau turun sebesar 7,39% dan 7,68%. Semakin rendah tingkat pembebanan, kapasitas SVC yang digunakan akan semakin kecil dan prosentase pengurangan rugi daya paling besar adalah ketika pembebanan maksimum.

5.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang bertujuan untuk perbaikan skripsi ini selanjutnya, yaitu:

1. Dapat dikembangkan pemasangan SVC dengan mempertimbangkan faktor biaya sehingga dapat diperhitungkan jumlah SVC yang paling efektif serta efisien.
2. Untuk hasil perbaikan level tegangan dan rugi daya dapat digunakan *multifacts devices* atau kombinasi dua atau lebih perangkat *facts device*.
3. Dapat dikembangkan pengaplikasian *multi – ojective optimization* menggunakan metode *artificial bee colony algorithm*. Apabila pada skripsi kali ini hanya digunakan fungsi obyektif berupa rugi daya aktif minimum, maka untuk pengembangannya dapat ditambahkan kenaikan profil tegangan sehingga mampu menghasilkan nilai level tegangan dan rugi daya lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- ABB. 1994. *SVC for Increased Power Interchange Capability Between Canada and USA*. Sweden.
- Acha, Enrique. 2004. *FACTS Modelling and Simulation in Power Networks*. John Willey & Sons, England.
- 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
- Hutauruk, T. 1994. *Transmisi Daya Elektrik*. Erlangga, Jakarta.
- Karaboga, D. Basturk, B. 2007. *On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm*. Applied Soft Computing 8, Turkey.
- Karaboga and B. Akay. 2009. *A Comparative Study Of Artificial Bee Colony Algorithm*. Applied Mathematics And Computation, 214(1):108 – 132.
- Kundur, Prabha. 1994. *Power System Stability and Control*. McGraw Hill, Inc, California.
- Padlyar, K. 2007. *FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution*. New Age International Publishers, New Delhi.
- Prajapati, Singh. 2012. *Multi – Objective Reactive Power Optimization Using Artificial Bee Colony Algorithm*. International Journal of Engineering and Innovative Technology, Vol 2. July
- Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. McGraw Hill, Inc, Singapore.
- Sadikvic, Rusejla. 2006. *Use of FACTS Devices for Power Flow Control and Damping of Oscillation in Power System*. Dissertation. Institute of Technology Zurich, Swiss.
- Saragih, Tarsin. 2011. *Analisis Penempatan Optimal Bank Kapasitor Pada Sistem Distribusi Radial Dengan Metode Genetik Algorithm Aplikasi: PT. PLN (Persero) Cabang Medan*. Thesis.USU.
- Shaaban, Mohammad. 2003. *Calculation of Total Transfer Capability Incorporating the Effect of Reactive Power*. Electric Power System and Research, 64(2):181-188.
- Singh, A. 2009. *An Artificial Bee Colony Algorithm For The Leaf – Constrained Minimum Spanning Tree Problem*. Applied Soft Computing, 9(2): 625–631.
- Stevenson, W. 1994. *Power System Analysis*. McGraw Hill, Inc, Singapore.

Supriatna, Gugun. 2013. *Optimasi Sistem Interkoneksi 500 kV Jawa – Bali dengan Aliran Daya Optimal MINOPF*. Tugas Akhir. UPI, Bandung.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Listing Program Analisis Aliran Daya Sebelum Penempatan SVC

```
clear % clears all VARIables from the workspace.
clc
basemva = 1000; accuracy = 0.01; maxiter =200; accel=1.2;
% Bus Data
%xlswrite('Busdata.xls',Busdata);
% Line Data
%xlswrite('linedata.xls',linedata);
% This program obtains th Bus Admittance Matrix for power flow
solution
% Copyright (c) 1998 by H. Saadat
j=sqrt(-1); i = sqrt(-1);
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4); Bc = j*linedata(:,5); a = linedata(:, 6);
nbr=length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
Z = R + j*X; y= ones(nbr,1)./Z; %branch admittance
for n = 1:nbr
if a(n) <= 0 a(n) = 1; else end
Ybus=zeros(nbus,nbus); % initialize Ybus to zero
% formation of the off diagonal elements
for k=1:nbr;
Ybus(nl(k),nr(k))=Ybus(nl(k),nr(k))-y(k)/a(k);
Ybus(nr(k),nl(k))=Ybus(nl(k),nr(k));
end
end
% formation of the diagonal elements
for n=1:nbus
for k=1:nbr
if nl(k)==n
Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(a(k)^2) + Bc(k);
elseif nr(k)==n
Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +Bc(k);
else, end
end
end
clear Pgg
```

```

% Power flow solution by Newton-Raphson method
% Copyright (c) 1998 by H. Saadat
ns=0; ng=0; Vm=0; delta=0; yload=0; deltad=0;
nbus = length(busdata(:,1));
for k=1:nbus
n=busdata(k,1);
kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k,4);
Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7);
Qg(n) = busdata(k,8);
Qmin(n)=busdata(k,9); Qmax(n)=busdata(k,10);
Qsh(n)=busdata(k,11);
    if Vm(n) <= 0 Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
    else delta(n) = pi/180*delta(n);
        V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
        P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
        Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
        S(n) = P(n) + j*Q(n);
    end
end
for k=1:nbus
if kb(k) == 1, ns = ns+1; else, end
if kb(k) == 2 ng = ng+1; else, end
ngs(k) = ng;
nss(k) = ns;
end
Ym=abs(Ybus); t = angle(Ybus);
m=2*nbus-ng-2*ns;
maxerror = 1; converge=1;
iter = 0;
% Start of iterations
clear A DC J DX
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter % Test for max.
power mismatch
for i=1:m
for k=1:m
    A(i,k)=0; %Initializing Jacobian matrix
end, end

```



```

iter = iter+1;
for n=1:nbus
nn=n-nss(n);
lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
J11=0; J22=0; J33=0; J44=0;
    for i=1:nbr
        if nl(i) == n | nr(i) == n
            if nl(i) == n, l = nr(i); end
            if nr(i) == n, l = nl(i); end
            J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
            J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
            if kb(n)~=1
                J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
                J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
            else, end
            if kb(n) ~= 1 & kb(l) ~=1
                lk = nbus+l-ngs(l)-nss(l)-ns;
                ll = l -nss(l);
                % off diagonalelements of J1
                A(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
                if kb(l) == 0 % off diagonal elements of J2
                    A(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n)+
delta(l));end
                if kb(n) == 0 % off diagonal elements of J3
                    A(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)-
delta(n)+delta(l)); end
                if kb(n) == 0 & kb(l) == 0 % off diagonal elements
of J4
                    A(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));end
                else end
            else, end
        end
        Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;

```

```

Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end % Swing bus P
if kb(n) == 2 Q(n)=Qk;
    if Qmax(n) ~= 0
        Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        if iter <= 7 % Between the 2th & 6th iterations
            if iter > 2 % the MVAR of generator buses are
                if Qgc < Qmin(n), % tested. If not within limits
                    Vm(n)
                        Vm(n) = Vm(n) + 0.01; % is changed in steps of
0.01 pu to
                        elseif Qgc > Qmax(n), % bring the generator MVAR
within
                            Vm(n) = Vm(n) - 0.01;end % the specified limits.
                        else, end
                    else,end
                else,end
            end
        if kb(n) ~= 1
            A(nn,nn) = J11; %diagonal elements of J1
            DC(nn) = P(n)-Pk;
        end
        if kb(n) == 0
            A(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22;
%diagonalelements of J2
            A(lm,nn)= J33; %diagonal elements of J3
            A(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44; %diagonal of
elements of J4
            DC(lm) = Q(n)-Qk;
        end
    end
    DX=A\DC';
    for n=1:nbus
        nn=n-nss(n);
        lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
        if kb(n) ~= 1
            delta(n) = delta(n)+DX(nn); end
    end

```

```

    if kb(n) == 0
        Vm(n)=Vm(n)+DX(lm); end
    end
    maxerror=max(abs(DC));
    if iter == maxiter & maxerror > accuracy
        fprintf('\nWARNING: Iterative solution did not converged
after ')
        fprintf('%g', iter), fprintf(' iterations.\n\n')
        fprintf('Press Enter to terminate the iterations and print
the results \n')
        converge = 0; pause, else, end
    end

if converge ~= 1
    tech= (' ITERATIVE SOLUTION DID NOT CONVERGE'); else,
    tech=(' Power Flow Solution by Newton-Raphson Method');
end
V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
deltad=180/pi*delta;
i=sqrt(-1);
k=0;
for n = 1:nbus
    if kb(n) == 1
        k=k+1;
        S(n)= P(n)+j*Q(n);
        Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n); %june 97
    elseif kb(n) ==2
        k=k+1;
        S(n)=P(n)+j*Q(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n); % June 1997
    end
end

```



```

yload(n) = (Pd(n) - j*Qd(n) + j*Qsh(n)) / (basemva*Vm(n)^2);
end
busdata(:,3)=Vm'; busdata(:,4)=deltad';
Pgt = sum(Pg); Qgt = sum(Qg); Pdt = sum(Pd); Qdt = sum(Qd); Qsht
= sum(Qsh);

```

```

%clear A DC DX J11 J22 J33 J44 Qk delta lk ll lm
%clear A DC DX J11 J22 J33 Qk delta lk ll lm
% This program prints the power flow solution in a tabulated
form
% on the screen.
%
% Copyright (C) 1998 by H. Saadat.

```

```

%clc
disp(tech)
fprintf(' Maximum Power Mismatch = %g \n', maxerror)
fprintf(' No. of Iterations = %g \n\n', iter)
head = [' Bus Voltage Angle -----Load----- ---Generation---
Injected' ' No. Mag. Degree MW MVAR MW MVAR MVAR '];
disp(head)
for n=1:nbus
    fprintf(' %5g', n), fprintf(' %7.3f', Vm(n)),
    fprintf(' %8.3f', deltax(n)), fprintf(' %9.3f', Pd(n)),
    fprintf(' %9.3f', Qd(n)), fprintf(' %9.3f', Pg(n)),
    fprintf(' %9.3f ', Qg(n)), fprintf(' %8.3f\n', Qsh(n))
end
fprintf(' \n'), fprintf(' Total ')
fprintf(' %9.3f', Pdt), fprintf(' %9.3f', Qdt),
fprintf(' %9.3f', Pgt), fprintf(' %9.3f', Qgt), fprintf('
%9.3f\n\n', Qsht)

```

```

SLT = 0;
fprintf('\n')
fprintf(' Line Flow and Losses \n\n')

```

```

fprintf('    --Line--  Power at bus & line flow    --Line loss--
transformer\n')
fprintf('    from to      MW      MVAR      MVA      MW      MVAR
tap\n')
for n = 1:nbus
busprt = 0;
    for L = 1:nbr
        if busprt == 0
            fprintf('    \n'), fprintf('%6g',n), fprintf('
%9.3f',P(n)*basemva)
                fprintf('%9.3f',Q(n)*basemva), fprintf('%9.3f\n',abs
(S(n)*basemva))

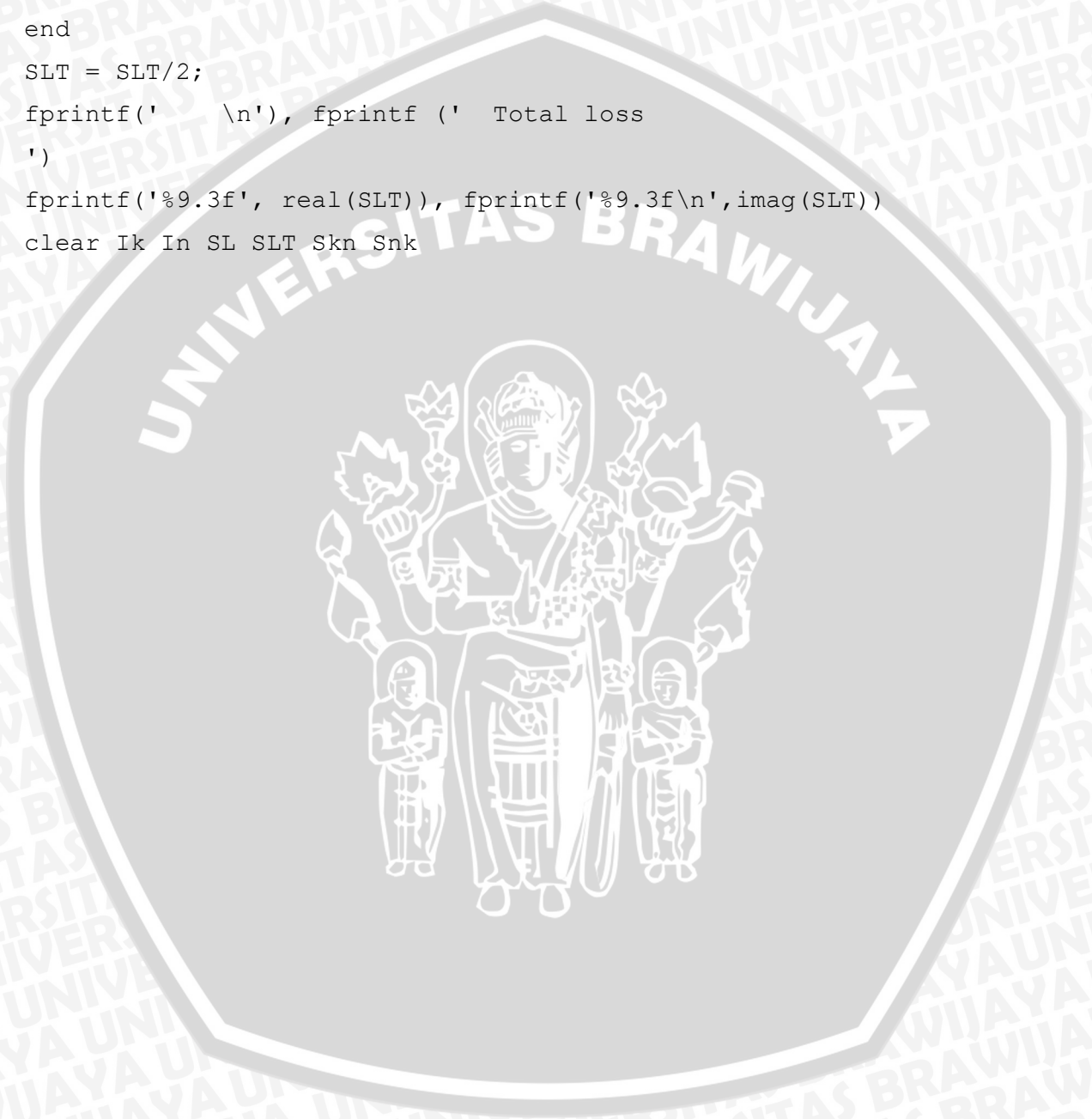
            busprt = 1;
        else, end
            if nl(L)==n      k=nr(L);
                In= (V(n) - a(L)*V(k))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(n);
                Ik= (V(k) - V(n)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(k);
                Snk= V(n)*conj(In)*basemva;
                Skn= V(k)*conj(Ik)*basemva;
                SL= Snk + Skn;
                SLT= SLT + SL;
            elseif nr(L)==n      k = nl(L);
                In= (V(n) - V(k)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(n);
                Ik= (V(k) - a(L)*V(n))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(k);
                Snk= V(n)*conj(In)*basemva;
                Skn= V(k)*conj(Ik)*basemva;
                SL= Snk + Skn;
                SLT= SLT + SL;
            else, end
                if nl(L)==n | nr(L)==n
                    fprintf('%12g', k),
                    fprintf('%9.3f', real(Snk)),
                    fprintf('%9.3f', imag(Snk)),
                    fprintf('%9.3f', abs(Snk)),
                    fprintf('%9.3f', real(SL)),
                    if nl(L)==n & a(L)~=1

```

```

fprintf('%9.3f', imag(SL)), fprintf('%9.3f\n', a(L))
    else, fprintf('%9.3f\n', imag(SL))
    end
else, end
end
end
SLT = SLT/2;
fprintf(' \n'), fprintf (' Total loss
')
fprintf('%9.3f', real(SLT)), fprintf('%9.3f\n', imag(SLT))
clear Ik In SL SLT Skn Snk

```



Lampiran 2. Listing Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan Artificial Bee Colony Algorithm

```
clc;
SN= 20;%jumlah sumber makanan yang ditentukan
MCN= 10; %jumlah siklus maksimum
jml_svc=6; %jumlah SVC yang dipasang
lb= 0; %batas bawah kapasitas SVC
ub= 300; %batas atas kapasitas SVC
limit= 100; %nilai pembangkitan lebah scout
error_toleransi= 0.0001; %nilai toleransi error

busdata=databus
%return
newton_raphson;
%analisis fitness awal
maks_fitness=real(SLT);
busdata=databus;
%Mencari sumber makanan awal secara acak
N=size(busdata,1);
for i=1:SN
    for j=1:N
        r=rand(1); %nilai r random antara (0..1)
        x(i,j)=lb+(ub-lb)*r;
    end
end
clear bus;
clear RND;
RND=randperm(N); %membuat urutan random bus
bus=RND(1:jml_svc); %mengambil sejumlah data sebanyak SVC
clear RND;
RND=randperm(SN); %membuat urutan indeks I dari SVC secara acak
clear RND1;
RND1=randperm(N); %membuat urutan indeks J dari SVC secara acak
qBus=' ';
qSVC=' ';
for I=1:jml_svc;
    indeks_i=RND(I);
```

```

indeks_j=RND1(I);
busdata(bus(I),11)=x(indeks_i,indeks_j);
Qbus(I)=bus(I);
Qsvc(I)=x(indeks_i,indeks_j);

end
newton_raphson;
jml_data=size(busdata,1)
for i=1:jml_data
    if busdata(i,3)<0,95
        busdata(i)=0,95;
    elseif busdata(i,3)>1.05
        busdata(i)=1.05;
    else busdata(i)=busdata(i,3);
    end
end
fitness=real(SLT);
scout=zeros(1,SN);
iterasi=1;
%return
while (iterasi<MCN+1)
    % Meletakkan lebah pekerja ke sumber makanan baru
    clear V;
    for I=1:SN
        disp(i);
        clear v;
        for j=1:N
            for k=1:SN
                r=rand(1);
                if k==I
                    else
                        v(j)=x(I,j)+r*(x(I,j)-x(k,j));
                    end
                end
            end
        end
        busdata=databus;
        %injeksi SVC secara random

```

```

clear RND;
RND=randperm(N);
bus=RND(1:jml_svc);
clear RND;
RND=randperm(N);
qBus=' ';
qSVC=' ';
for j1=1:jml_svc;
    indeks_j=RND(j1);
    if v(indeks_j)>300 %jika svc > 300 dibuat 300 sesuai
batas atas
        v(indeks_j)=300;
    end
    busdata(bus(j1),11)=v(indeks_j);
    Q(j1)=bus(j1);
    svc(j1)=v(indeks_j);
end
newton_raphson;
jml_data=size(busdata,1)
for i=1:jml_data
    if busdata(i,3)<0,95
        busdata(i)=0,95;
    elseif busdata(i,3)>1.05
        busdata(i)=1.05;
    else busdata(i)=busdata(i,3);
end
end

%Membandingkan fitness sebelum dan sesudah
Slt=real(SLT);
if Slt<=fitness
    disp('fitness minimum - Employed Bee');
    fitness=Slt
    Qsvc=svc
    BUS=bus
    qBus=' ';

```



```

qSVC=' ';
scout(I)=0; %lebah scout yang mau mengambil makanan tsb
ditiadakan

else
    scout(I)=scout(I)+1;
end

if fit(I)>maks_fitness
    maks_fitness=fit(I);
end

end

% Menghitung probabilitas
sum_fit=0;
for I=1:SN
    sum_fit=sum_fit+fit(I);
end

clear Prob;
for I=1:SN
    Prob(I)=fit(I)/sum_fit;
end

%Mengirim lebah onlooker
for I=1:SN
    %clear RND;
    r=rand(1);
    J=0;
    sum_prob=0;
    while(sum_prob<=r)
        J=J+1;
        sum_prob=sum_prob+Prob(J);
        for k=1:N
            for m=1:SN
                x1(J)=x(J,k)+r*(x(J,k)-x(J,m));
            end
        end
        busdata=databus;
    %injeksi SVC
    clear RND;

```

```

RND=randperm(N);
bus=RND(1:jml_svc);
clear RND;
RND=randperm(N);
qBus=' ';
qSVC=' ';
for j1=1:jml_svc;
    indeks_j=RND(j1);
    if v(indeks_j)>300 %jika svc > 300 dibuat 300 sesuai
batas atas
        v(indeks_j)=1000;
    end
    busdata(bus(j1),11)=v(indeks_j);
    Q(j1)=bus(j1);
    svc(j1)=v(indeks_j);
end
newton_raphson;
jml_data=size(busdata,1)
for i=1:jml_data
    if busdata(i,3)<0,95
        busdata(i)=0,95;
    elseif busdata(i,3)>1.05
        busdata(i)=1.05;
    else busdata(i)=busdata(i,3);
end
end

%Membandingkan fitness sebelum dan sesudah
SlT=real(SLT);
if SlT<=fitness
    disp('fitness minimum -- Onlooker Bee ');
    fitness=real(SLT)
    Qsvc=svc
    BUS=bus
    scout(I)=0;

```

```

else
    scout(I)=scout(I)+1;
end
if Slt>maks_fitness
    maks_fitness=Slt;
end
end

end

%Menghitung nilai error
average=(sum(fit1)+sum(fit))/(2*SN)
Error=(maks_fitness-average)
if Error<=error_toleransi
    return
end

%Mengirimkan lebah scout untuk mengganti sumber makanan yang
ditinggalkan
indeks=find(scout==max(scout));
indeks=indeks(end);
if (scout(indeks)>=limit);
    for I=1:SN
        for j1=1:N
            r=rand(1);
            x(I,j1)=lb+(ub-lb)*r;
        end
    end
end

end

busdata=databus;
clear RND;
RND=randperm(N);
bus=RND(1:jml_svc);
clear RND;
RND=randperm(N);
qBus=' ';
qSVC=' ';
for j1=1:jml_svc;
    indeks_j=RND(j1);

```



```

        if v(indeks_j)>300 %jika svc > 300 dibuat 300 sesuai
        batas atas
            v(indeks_j)=300;
        end
        busdata(bus(j1),11)=v(indeks_j);
        Q(j1)=bus(j1);
        svc(j1)=v(indeks_j);
        end

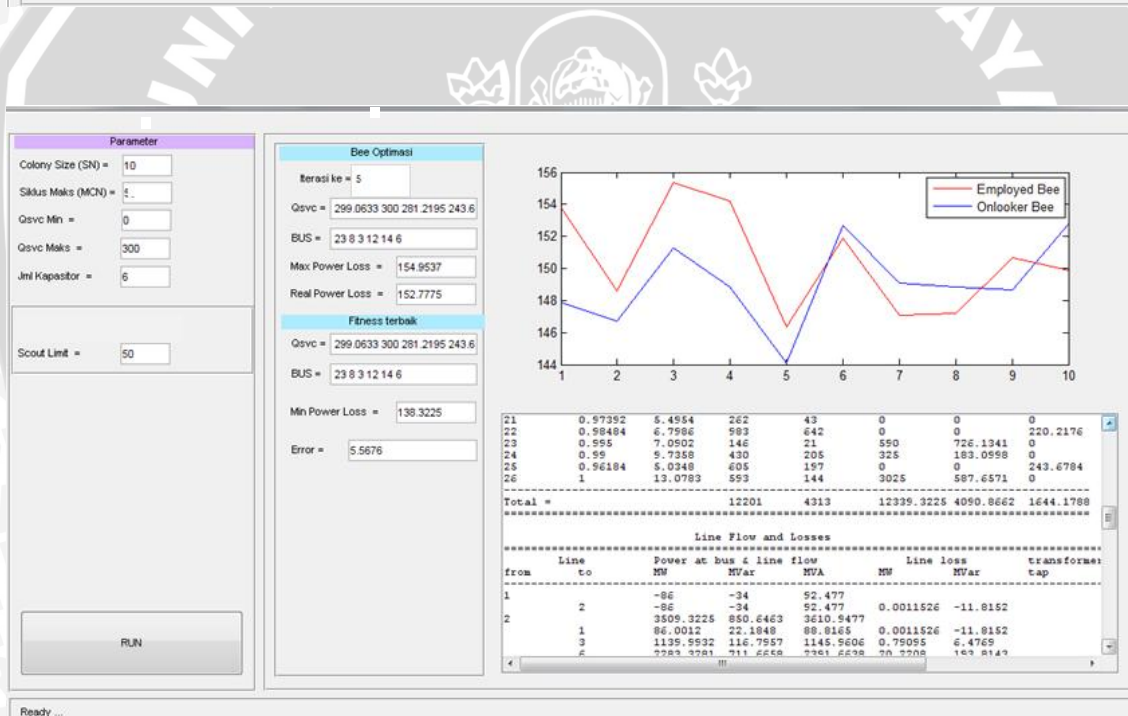
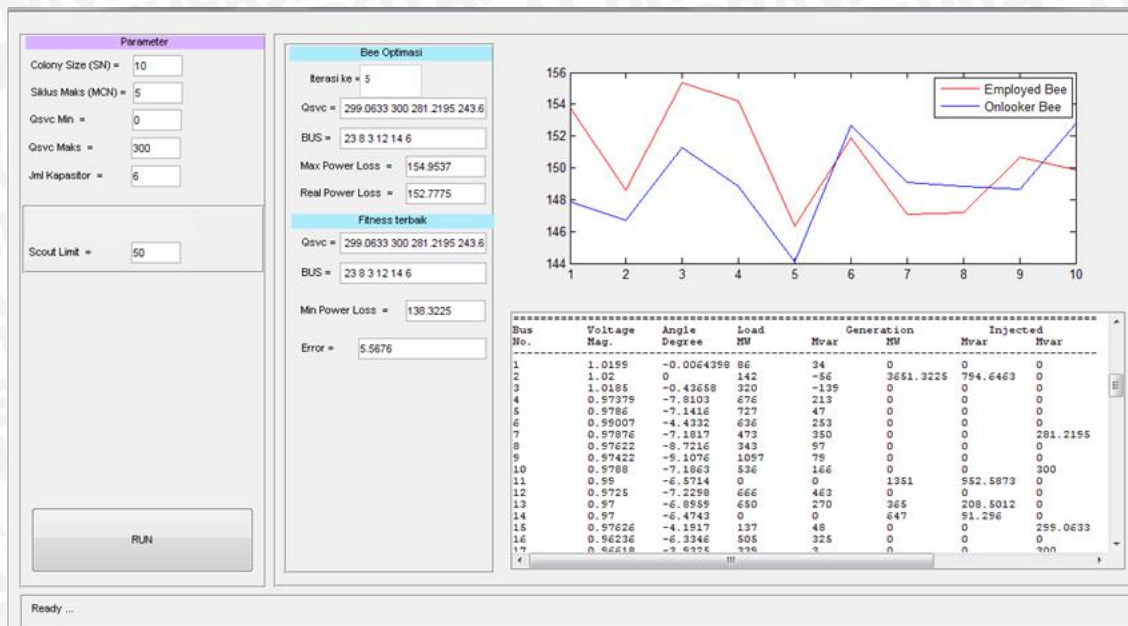
        newton_raphson;
        jml_data=size(busdata,1)
        for i=1:jml_data
            if busdata(i,3)<0,95
                busdata(i)=0,95;
            elseif busdata(i,3)>1.05
                busdata(i)=1.05;
            else busdata(i)=busdata(i,3);
            end
        end

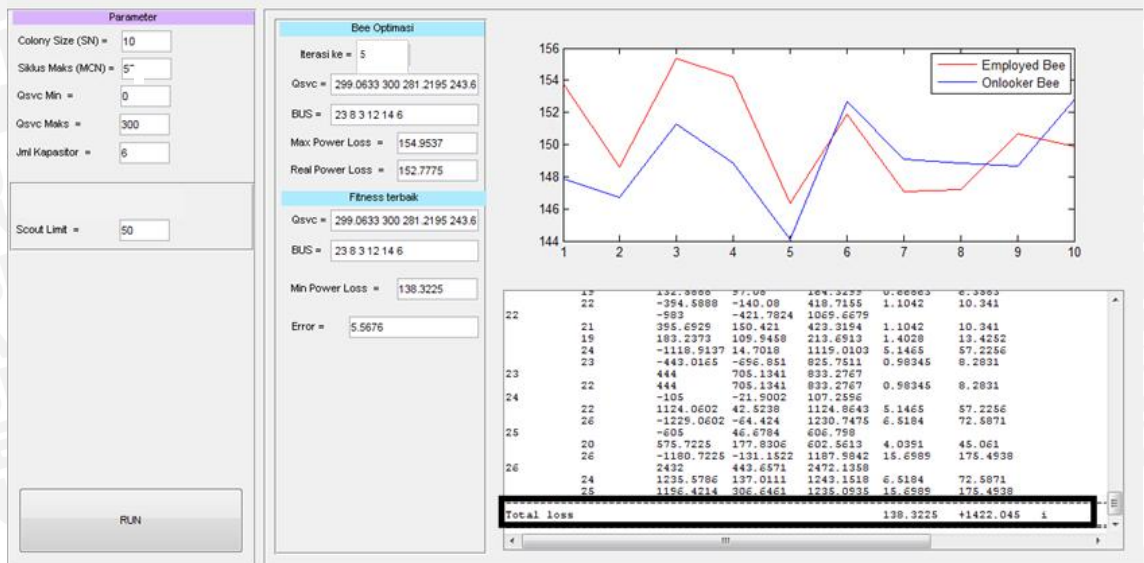
        Slt=real(SLT);
        Fit=Slt;

        if Fit<=fitness
            fitness=Fit;
            Qsvc=svc;
            BUS=bus;
            qBus=' ';
            qSVC=' ';
        end
        iterasi=iterasi+1;
    end

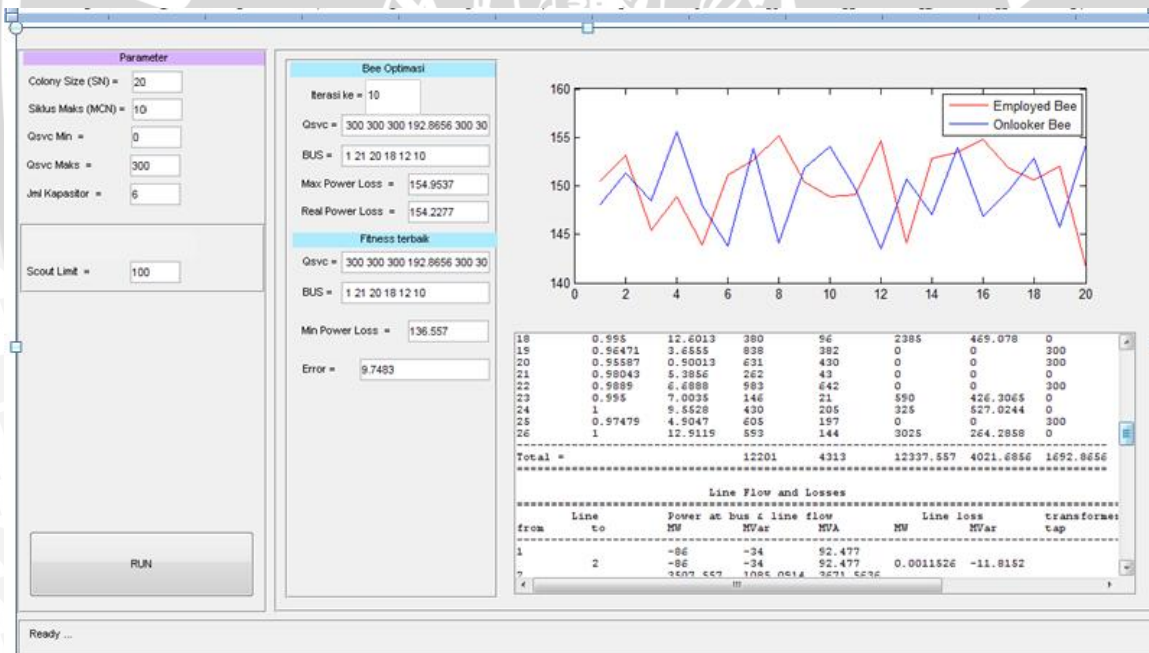
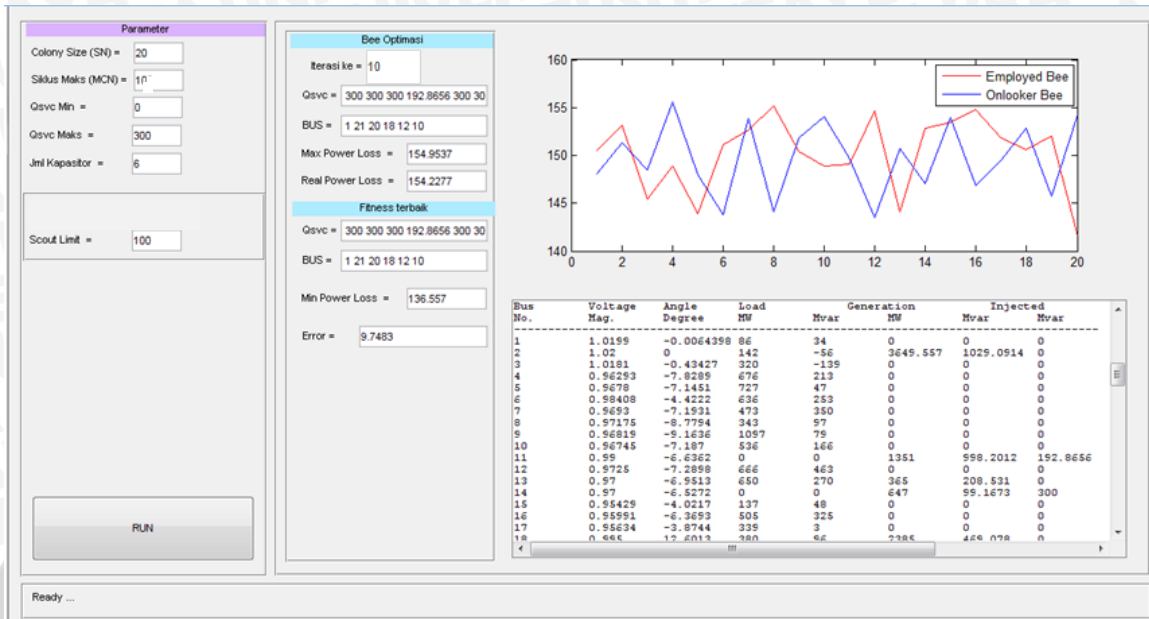
```

Lampiran 3. Hasil Running Program Analisis Aliran Daya Dengan Parameter 1





Lampiran 4. Hasil Running Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Pembebanan 100%



Parameter

Colony Size (SN) = 20

Siklus Maks (MCN) = 10

Qsvc Min = 0

Qsvc Maks = 300

Jml Kapasitor = 6

Scout Limit = 100

RUN

Bee Optimasi

Iterasi ke = 10

Qsvc = 300 300 300 192.8656 300 30

BUS = 1 21 20 18 12 10

Max Power Loss = 154.9537

Real Power Loss = 154.2277

Fitness terbaik

Qsvc = 300 300 300 192.8656 300 30

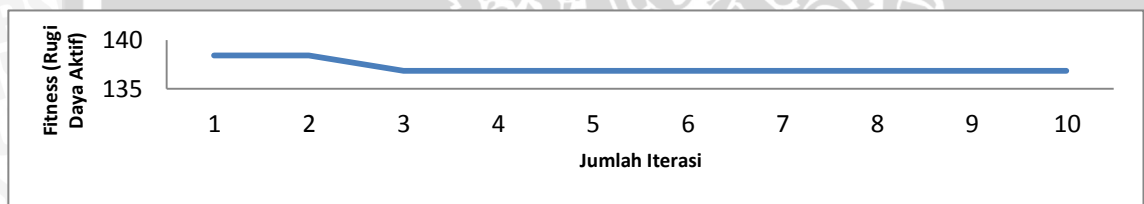
BUS = 1 21 20 18 12 10

Min Power Loss = 136.557

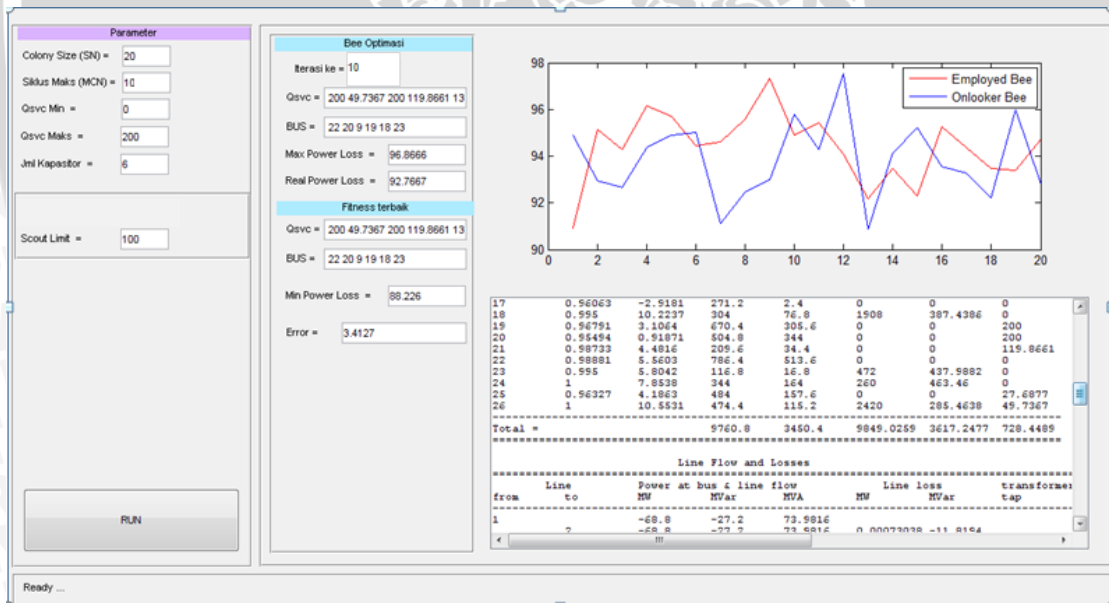
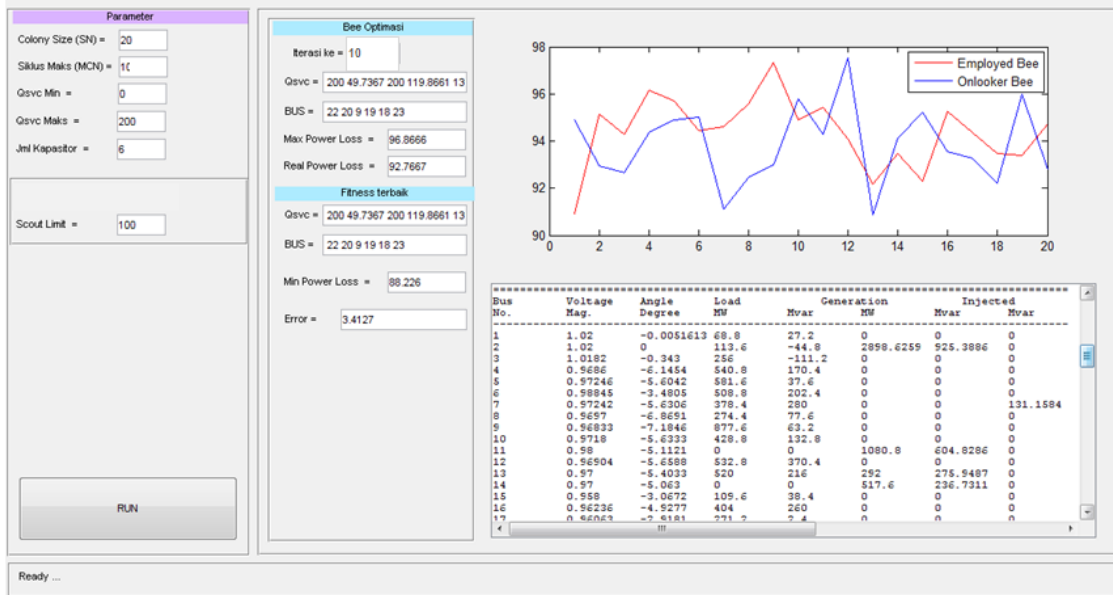
Error = 9.7483

22	132.4306	36.424	143.7793	0.30643	4.7284
22	-354.4586	-59.424	406.7557	1.0285	9.6107
21	395.4871	109.0347	410.2421	1.0285	9.6107
19	183.5632	69.1304	196.1451	1.1722	11.2089
24	-1118.5623	-118.607	1124.833	5.1575	57.3429
23	-449.488	-401.5581	558.273	0.51195	3.7485
23	444	405.3065	601.1733	0.51195	3.7485
22	444	405.3065	601.1733	0.51195	3.7485
22	-105	322.0244	338.7104		
22	1123.7197	175.9499	1137.4113	5.1575	57.3429
26	-1228.7197	146.0745	1237.3722	6.4579	71.5074
25	-605	103	613.7051		
20	576.6923	128.3247	580.7971	3.7803	42.1621
26	-1181.6923	-25.3247	1181.9636	15.1301	169.1283
2432	120.2858		2434.9728		
26	1235.1777	-74.1671	1237.4024	6.4579	71.5074
23	1156.8223	154.453	1212.5163	15.1301	169.1283
Total loss				136.557	+1401.5513

Grafik Konvergensi



Lampiran 5. Hasil Running Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Pembebanan 80%



Parameter

Colony Size (SN) =

Siklus Maks (MCN) =

Qsvc Min =

Qsvc Maks =

Jml Kapasitor =

Scout Limit =

RUN

Bee Optimasi

Iterasi ke =

Qsvc = 200 49.7367 200 119.8661 13

BUS = 22 20 9 19 18 23

Max Power Loss = 96.8666

Real Power Loss = 92.7667

Fitness terbaik

Qsvc = 200 49.7367 200 119.8661 13

BUS = 22 20 9 19 18 23

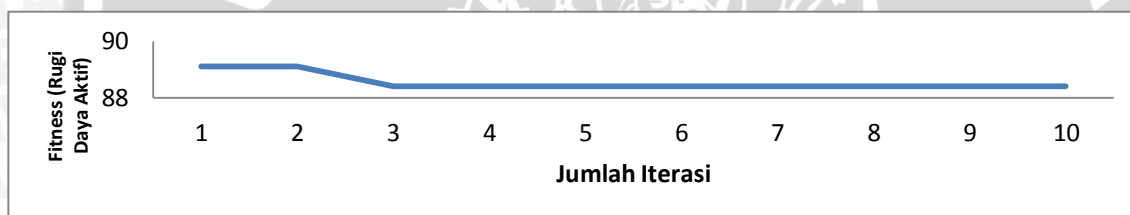
Min Power Loss = 88.226

Error = 3.4127

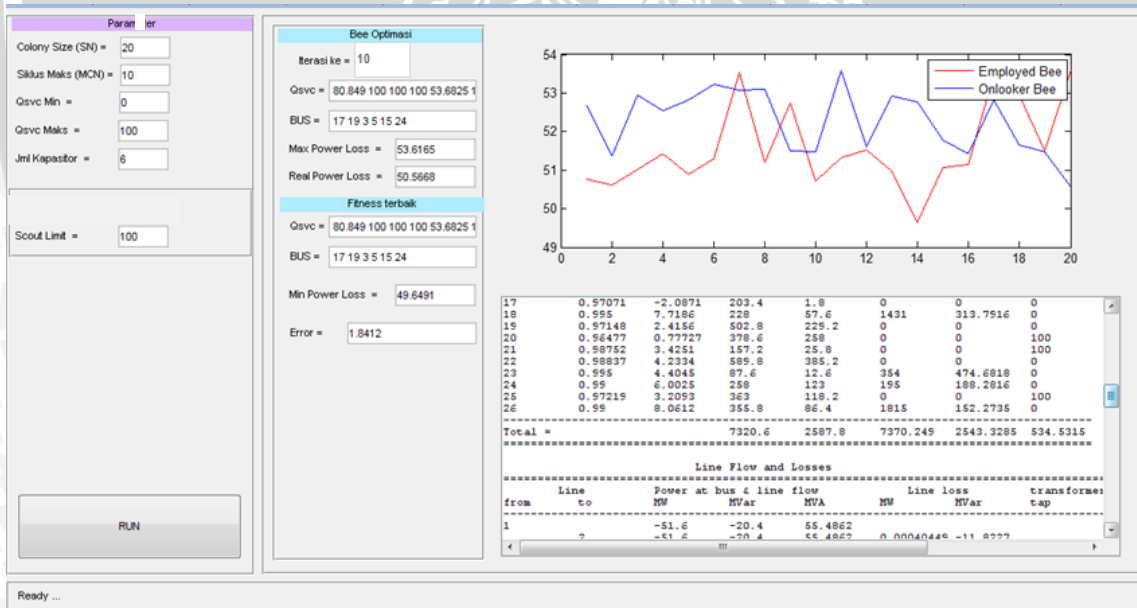
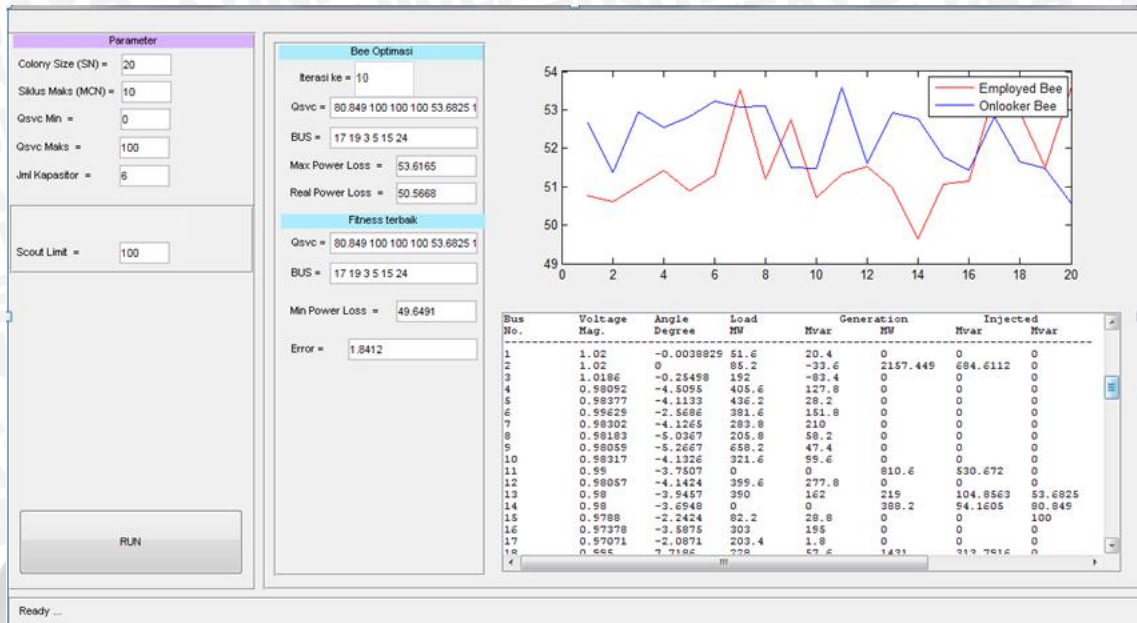
22	319.6804	-4.9425	319.7187	0.62466	5.7293
19	149.3787	59.4865	140.8616	0.78857	7.5227
24	-900.6893	-150.1184	913.1137	3.3592	37.6732
23	-354.7659	-418.2256	548.4289	0.43015	2.9627
23	355.2	421.1882	550.9688		
22	355.2	421.1882	550.9688	0.43015	2.9627
24	-94	259.46	311.0192		
22	904.0885	187.7916	923.386	3.3592	37.6732
26	-988.0885	111.6684	994.3785	4.1706	46.3185
25	-484	-129.9123	501.1319		
20	459.1455	41.5582	461.0264	2.9573	26.2444
26	-543.1455	-171.4704	558.61	10.1914	113.88
26	1945.6	220.0005	1957.9989		
24	992.2591	-65.3459	994.4087	4.1706	46.3185
25	653.3409	785.3504	655.13	10.1914	113.88
Total loss					88.226 +895.2568 1

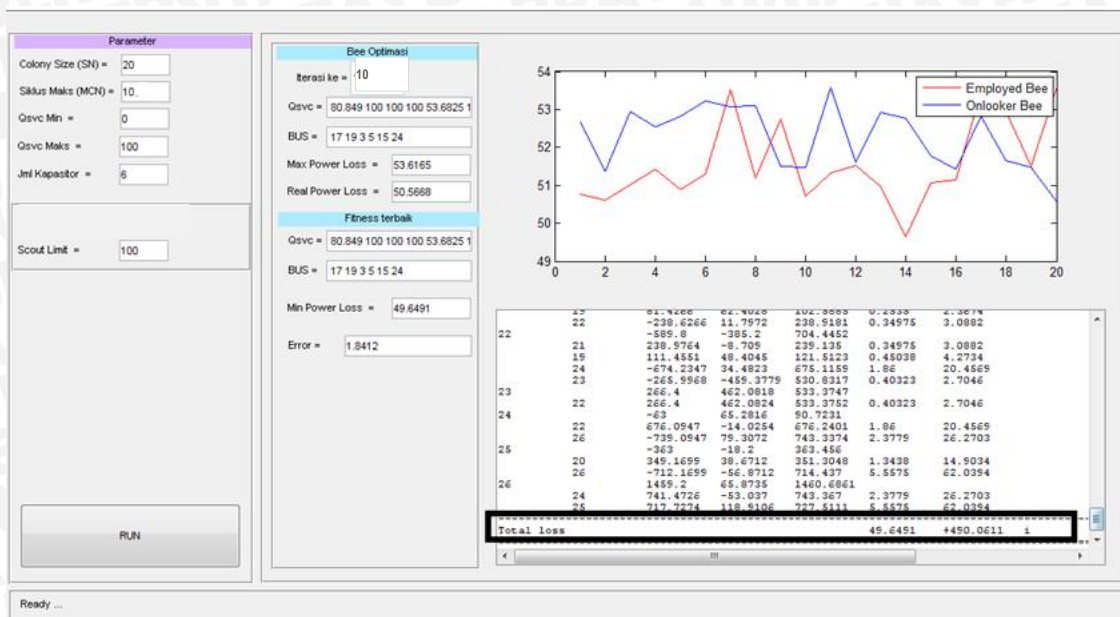
Ready ...

Grafik Konvergensi



Lampiran 6. Hasil Running Program Program Optimasi Penempatan dan Kapasitas SVC dengan *Artificial Bee Colony Algorithm* Pada Pembebanan 60%





Grafik Konvergensi

