SKRIPSI

ALIRAN DAYA OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Disusun dan diajukan oleh:

RAHMAT RAMADHANI IKBAL

D041 19 1009

PROGRAM STUDI SARJANA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

Optimized using
trial version
www.balesio.com

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ALIRAN DAYA OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Disusun dan diajukan oleh

RAHMAT RAMADHANI IKBAL
D041191009

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Ir. M. Bachtiar Nappu S.T., M.Phil., Ph.D
NIP 197604062003121002

Pembimbing Pendamping,

Ir. Tajuddin Waris M.T.
NIP. 196504241992031003

Ketua Program Studi,

Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., IPM
NIP. 196910261994122O

Optimized using
trial version
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Rahmat Ramadhani Ikbal
NIM	: D041191009
Program Studi	: Teknik Elektro
Jenjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ALIRAN DAYA OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 13 Oktober 2023

Yang menyatakan

Rahmat Ramadhani Ikbal

Optimized using
trial version
www.balesio.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT, karena atas berkat Rahmat dan hidayah-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "Aliran Daya Optimal Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode *Incremental Particle Swarm Optimization*".

Penyusunan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan pada Program sarjana (S1) Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis berharap kritik dan saran yang baik dalam menyempurnakan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari dukurngan berbagai pihak. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Orang tua tersayang Ibu Darmawati dan Bapak Ikbal Rasyid serta kakak-kakak saya yang saya cintai dan seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta konstribusi dalam penyelesaian skripsi ini.
2. Bapak Ir. Muhammad Bachtiar Nappu, S.T., M.Phil., Ph.D. sebagai dosen pembimbing I dan Ir. Tajuddin Waris S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan bimbingan serta saran dan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Ibu Prof. Ir. Ardiaty Arief, S.T., MTM. Ph.D. Sebagai dosen penguji I dan Ibu Dr. Ir. Hasniaty S.T., M.T. Selaku dosen Penguji II yang telah menyempatkan waktu dan tenaganya untuk hadir selama seminar penelitian serta ide, saran dan masukannya dalam menyusun skripsi ini.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

4. Seluruh dosen dan pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas ilmu dan pengalaman dalam kelancaran perkuliahan serta penyusunan skirpsi ini.
5. Saudara Miftahul Ulum, Mukhlis Sirajuddin, dan Rizqi Azhari atas kerjasama dalam melalui masa perkuliahan serta kebersamaan dalam bermain Genshin dan PES.
6. 2023 ZT (Aulia, Ayu, Arjun, Didin, dan Yusril) teman-teman seperjuangan dalam grup riset *Energy and Power System* dan *Power System and Electricity Market* yang selalu mendukung dan memberikan saran tindakan selama bimbingan penyelesaian tugas akhir.
7. Teman-teman pengurus HME FT-UH periode 2021-2022 atas semangat, kerjasama, pengalaman, dan dukungan dalam menjalani dinamika berorganisasi.
8. Kak Nurul Annisa Musdir atas berbagai informasi pendukung untuk menjalani perkuliahan serta dalam penyusunan tugas akhir skripsi.
9. Penghuni Telmat yang telah menemani kegabutan penulis selama masa penyusunan skripsi ini.
10. Saudara Aulia, Ade, dan Tria karena telah menjadi pendengar yang baik serta ada dalam momen suka maupun duka penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Teman-teman Bani TR19GER atas kerjasama, kebersamaan, pengalaman serta dukungan dalam menjalani dinamika dunia perkuliahan.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung penulis selama masa perkuliahan dan penyelesaian skripsi.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

RAHMAT RAMADHANI IKBAL. *Aliran Daya Optimal Mempertimbangkan Kontingensi Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode Incremental Particle Swarm Optimization* (dibimbing oleh Muhammad Bachtiar Nappu dan Tajuddin Waris)

Peristiwa kontingensi pada sistem tenaga listrik terhadap saluran transmisi maupun pada generator dapat menyebabkan penurunan kualitas keandalan sistem tenaga berupa peningkatan rugi-rugi daya serta terjadinya *voltage collapse*. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa aliran daya optimal dengan memberikan aturan-aturan tertentu pada sistem sehingga mencapai nilai yang optimal walau dalam keadaan terjadi kontingensi. Saat ini telah banyak dilakukan penelitian terkait aliran daya optimal serta optimasi lainnya. Salah satunya yaitu *Incremental Particle Swarm Optimization* (IPSO). Metode IPSO ini merupakan pengembangan dari metode *Particle Swarm Optimization* dengan penambahan *particle* saat menjalankan pencarian solusi terbaik sehingga solusi yang ditemukan merupakan solusi yang lebih optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sistem tenaga ketika terjadi kontingensi pada data IEEE 14 Bus dan IEEE 30 Bus dengan metode *Incremental Particle Swarm Optimization*. Dari hasil simulasi program diperoleh bahwa dengan menggunakan metode IPSO rugi-rugi daya yang diperoleh ketika terjadi kontingensi dapat dikurangi jika dibandingkan tanpa menggunakan metode optimasi. Selain itu, tegangan per unit pada setiap bus yang mengalami keadaan *under voltage* dapat diperbaiki menjadi nilai yang sesuai dengan batas toleransi tegangan yaitu tidak lebih rendah dari 0.95 p.u. atau lebih dari 1.05 p.u. Hal tersebut dapat terjadi karena metode ini menginisialisasikan nilai variable kontrol berupa tegangan pada generator, tap changing transformator, dan daya reaktif pada kapasitor dengan nilai acak dalam mencari solusi yang optimal.

Kata kunci: Aliran Daya Optimal, Kontingensi, Incremental Particle Swarm Optimization, rugi-rugi daya, tegangan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRACT

RAHMAT RAMADHANI IKBAL. Optimal Power Flow Considering Contingencies to Reduce Power Losses Using Incremental Particle Swarm Optimization Method (supervised by Muhammad Bachtiar Nappu and Tajuddin Waris)

Contingency in the power system, affecting both transmission lines and generators, can lead to a decrease in the reliability of the power system, resulting in increased power losses and potential voltage collapse. Therefore, an analysis of optimal power flow is necessary by imposing specific rules on the system to achieve optimal values even during contingency conditions. Currently, there have been numerous studies related to optimal power flow and other optimizations. One of them is the Incremental Particle Swarm Optimization (IPSO) method. IPSO is an extension of the Particle Swarm Optimization method that adds particles during the search for the best solution, resulting in a more optimal solution. This research aims to reduce power losses in the power system during contingencies using the Incremental Particle Swarm Optimization method on the IEEE 14 Bus and IEEE 30 Bus data. Simulation results from the program show that using the IPSO method, power losses during contingencies can be reduced compared to not using the optimization method. Furthermore, the per-unit voltage at each bus experiencing under voltage conditions can be improved to values within the voltage tolerance limits, i.e., not lower than 0.95 p.u. or higher than 1.05 p.u. This is possible because this method initializes the control variable values, including generator voltage, tap changing transformers, and reactive power in capacitors, with random values in the search for optimal solutions.

Keywords: Optimal Power Flow, Contingencies, Incremental Particle Swarm Optimization, power losses, voltage.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i

PERNYATAAN KEASLIAN ii

KATA PENGANTAR iii

ABSTRAK v

ABSTRACT vi

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR x

DAFTAR TABEL xiii

DAFTAR LAMPIRAN xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat penelitian 3

1.5 Batasan masalah 4

1.6. Metode Penelitian 4

1.7. Sistematika Penulisan 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Sistem Tenaga Listrik 6

udi Aliran Daya 7

. Persamaan Studi Aliran Daya 9

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.3. Aliran Daya Optimal 11

2.3.1. Persamaan Economic Dispatch 11

2.3.2. Persamaan dari kombinasi Aliran Daya dan Economic Dispatch 13

2.4. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik 13

2.4.1. Ketidakseimbangan Arus dan Tegangan 14

2.5. Kontingensi 15

2.5.1. Analisa Kontingensi 15

2.6. Particle Swarm Optimization 16

2.7. Incremental Particle Swarm Optimization 17

2.8. State of The Art 18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 20

3.1. Judul Penelitian 20

3.2. Tempat Penelitian 20

3.3. Waktu Penelitian 20

3.4. Alat dan Bahan 20

3.5. Pengumpulan Data 20

3.6. Diagram Penelitian 28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34

4.1. Skenario 1: Aliran Daya Tanpa Optimasi 34

4.1.1. Sistem IEEE 14 Bus 35

4.1.2. Sistem IEEE 30 Bus 37

enario 2: Kontingensi Pada Setiap Saluran Transmisi Serta Perankingan PI 40

. Kontingensi Saluran IEEE 14 Bus 40

Optimized using
trial version
www.balesio.com

4.2.2. Kontingensi Saluran IEEE 30 Bus 43

4.3. Skenario 3: Kontingensi Pada Setiap Generator dan Kondensor Serta Perankingan PI 52

4.3.1. Kontingensi Generator IEEE 14 Bus 52

4.3.2. Kontingensi Generator IEEE 30 Bus 55

4.4. Skenario 4: Aliran Daya Dengan Optimasi Pada Saluran Yang Mengalami Kontingensi 58

4.4.1. Optimasi terhadap kontingensi saluran IEEE 14 Bus 59

4.4.1.1. Peringkat 1 PI (MVA) IEEE 14 Bus 59

4.4.2. Optimasi terhadap kontingensi saluran IEEE 30 Bus 66

4.4.2.1. Peringkat 1 PI (MVA) IEEE 30 Bus 66

4.4.2.2. Peringkat 1 PI (Voltage Magnitude) IEEE 30 Bus 77

4.5. Skenario 5: Aliran Daya Dengan Optimasi Pada Generator dan Kondensor Yang Mengalami Kontingensi 86

4.5.1. Optimasi terhadap kontingensi generator IEEE 14 Bus 87

4.5.2. Optimasi terhadap kontingensi generator IEEE 30 Bus 93

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 102

5.1. KESIMPULAN 102

5.2. SARAN 103

DAFTAR PUSTAKA 104

LAMPIRAN 107

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik 6
Gambar 2 Contoh jaringan sistem tenaga dengan 3 bus 9
Gambar 3 Gambar skema bus secara umum 10
Gambar 4 Single Line Diagram IEEE 14 Bus 21
Gambar 5 Single Line Diagram IEEE 30 Bus 21
Gambar 6 Diagram penelitian 28
Gambar 7 Flowchart simulasi program 30
Gambar 8 Flowchart Tahapan Program IPSO 32
Gambar 9 Tegangan IEEE 14 Bus tanpa optimasi 36
Gambar 10 Aliran daya IEEE 14 Bus dalam keadaan normal 37
Gambar 11 Tegangan IEEE 30 Bus tanpa optimasi 38
Gambar 12 Aliran daya IEEE 30 Bus dalam keadaan normal 39
Gambar 13 Aliran daya IEEE 14 Bus dengan kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 43
Gambar 14 Aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 47
Gambar 15 Tegangan IEEE 30 Bus akibat kontingensi saluran yang menghubungkan Bus 28 dan Bus 27 50
Gambar 16 Aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi di saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 51
.7 Tegangan IEEE 14 Bus akibat kontingensi generator pada Bus 3 53
.8 Aliran daya IEEE 14 Bus dengan kontingensi di Generator pada Bus 3 . 54

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 19 Tegangan IEEE 30 Bus akibat kontingensi generator pada Bus 8 56

Gambar 20 Aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi di generator pada Bus 8 .. 57

Gambar 21 Tegangan IEEE 14 Bus akibat kontingensi saluran yang menghubungkan Bus 1 dan Bus 2 59

Gambar 22 Optimasi aliran daya IEEE 14 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 61

Gambar 23 Pembangkitan daya aktif pada Generator 1 IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 62

Gambar 24 Pembangkitan daya aktif pada Generator 2 IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 62

Gambar 25 Rugi-rugi daya aktif di tiap saluran IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 65

Gambar 26 Tegangan IEEE 30 Bus akibat kontingensi saluran yang menghubungkan Bus 1 dan Bus 2 67

Gambar 27 Optimasi aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 69

Gambar 28 Pembangkitan daya aktif Generator 1 IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 70

Gambar 29 Pembangkitan daya aktif Generator 2 IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 71

Gambar 30 Rugi-rugi daya aktif IEEE 30 Bus akibat kontingensi saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 75

Gambar 31 Tegangan IEEE 30 Bus akibat kontingensi saluran yang menghubungkan Bus 28 dan Bus 27 77

32 Optimasi aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 79

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Gambar 33 Pembangkitan daya aktif Generator 1 IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 80

Gambar 34 Pembangkitan daya aktif Generator 2 IEEE 30 Bus dengan kontingensi pada saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 81

Gambar 35 Rugi-rugi daya aktif IEEE 30 Bus akibat kontingensi saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 84

Gambar 36 Tegangan IEEE 14 Bus akibat kontingensi generator pada Bus 3 87

Gambar 37 Optimasi aliran daya IEEE 14 Bus dengan kontingensi generator di Bus 3 88

Gambar 38 Pembangkitan daya aktif Generator 1 IEEE 14 Bus dengan kontingensi generator di Bus 3 89

Gambar 39 Pembangkitan daya aktif Generator 2 IEEE 14 Bus dengan kontingensi generator di Bus 3 89

Gambar 40 Rugi-rugi daya aktif IEEE 14 Bus akibat kontingensi pada generator di Bus 3 92

Gambar 41 Tegangan IEEE 30 Bus akibat kontingensi generator pada Bus 8 94

Gambar 42 Optimasi aliran daya IEEE 30 Bus dengan kontingensi generator di Bus 8 95

Gambar 43 Pembangkitan daya aktif Generator 1 IEEE 30 Bus dengan kontingensi generator di Bus 8 96

Gambar 44 Pembangkitan daya aktif Generator 2 IEEE 30 Bus dengan kontingensi generator di Bus 8 97

Gambar 45 Rugi-rugi daya aktif IEEE 30 Bus akibat kontingensi pada generator di Bus 8 100

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR TABEL

Tabel 1 State of The Art 18

Tabel 2 Data Generator IEEE 14 Bus 22

Tabel 3 Data saluran IEEE 14 Bus 22

Tabel 4 Bus Data IEEE 14 Bus 23

Tabel 5 Data Generator IEEE 30 Bus 24

Tabel 6 Data Saluran IEEE 30 Bus 24

Tabel 7 Data Beban IEEE 30 Bus 26

Tabel 8 Bus Data IEEE 30 Bus 27

Tabel 9 Hasil Program aliran daya IEEE 14 Bus dalam keadaan normal 35

Tabel 10 Hasil program aliran daya IEEE 30 Bus dalam keadaan normal 37

Tabel 11 Ranking PI (MVA) akibat kontingensi saluran pada data IEEE 14 Bus .. 40

Tabel 12 Nilai aliran MVA saluran IEEE 14 Bus yang terjadi akibat kontingensi di saluran 1 41

Tabel 13 Ranking PI (MVA) akibat kontingensi saluran pada data IEEE 30 Bus .. 44

Tabel 14 Nilai aliran MVA saluran IEEE 30 Bus yang terjadi akibat kontingensi di saluran 1 45

Tabel 15 Ranking PI (Voltage Magnitude) akibat kontingensi saluran pada data IEEE 30 Bus 48

Tabel 16 Hasil program aliran daya IEEE 30 Bus dengan terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 50

Ranking PI (Voltage Magnitude) akibat kontingensi generator pada data IEEE 14 Bus 52

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Tabel 18 Hasil program aliran daya IEEE 14 Bus dengan terjadi kontingensi di Generator 3 54

Tabel 19 Ranking PI (Voltage Magnitude) akibat kontingensi generator pada data IEEE 30 Bus 55

Tabel 20 Hasil program aliran daya IEEE 30 Bus dengan terjadi kontingensi di Generator 4 56

Tabel 21 Koefisien Biaya Pembangkitan IEEE 14 Bus 63

Tabel 22 Biaya Pembangkitan IEEE 14 Bus dalam keadaan kontingensi pada saluran yang menghubungkan Bus 1 dan Bus 2 64

Tabel 23 Rugi-rugi daya, pembebanan, dan pembangkitan daya pada kontingensi saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 IEEE 14 Bus 66

Tabel 24 Koefisien Biaya Pembangkitan IEEE 30 Bus 71

Tabel 25 Biaya Pembangkitan IEEE 30 Bus dalam keadaan kontingensi pada saluran yang menghubungkan Bus 1 dan Bus 2 73

Tabel 26 Rugi-rugi daya, pembebanan, dan pembangkitan daya pada kontingensi saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 IEEE 30 Bus 76

Tabel 27 Biaya Pembangkitan IEEE 30 bus dalam keadaan kontingensi pada saluran yang menghubungkan bus 28 dan bus 27 82

Tabel 28 Rugi-rugi daya, pembebanan, dan pembangkitan daya pada kontingensi saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 IEEE 30 Bus 85

Tabel 29 Biaya Pembangkitan IEEE 14 Bus dalam keadaan kontingensi di generator Bus 3 91

Tabel 30 Rugi-rugi daya, pembebanan, dan pembangkitan daya pada kontingensi generator pada Bus 3 IEEE 14 Bus 93

Biaya Pembangkitan IEEE 30 Bus dalam keadaan kontingensi di generator Bus 8 98

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Tabel 32 Rugi-rugi daya, pembebanan, dan pembangkitan daya pada kontingensi generator pada Bus 8 IEEE 30 Bus 101

Optimized using
trial version
www.balesio.com

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tegangan pada tiap bus IEEE 14 Bus (Keadaan Normal) 107

Lampiran 2 Tegangan pada tiap bus IEEE 30 Bus (Keadaan Normal) 108

Lampiran 3 Tegangan di tiap bus IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 109

Lampiran 4 Tegangan di tiap bus IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi pada generator di Bus 3 109

Lampiran 5 Tegangan di tiap bus IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 110

Lampiran 6 Tegangan di tiap bus IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi pada saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 111

Lampiran 7 Tegangan di tiap bus IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi pada generator di Bus 8 112

Lampiran 8 Aliran daya pada setiap saluran IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 113

Lampiran 9 Aliran daya pada setiap saluran IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi generator di Bus 3 114

Lampiran 10 Aliran daya pada setiap saluran IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 115

Lampiran 11 Aliran daya pada setiap saluran IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 116

Lampiran 12 Aliran daya pada setiap saluran IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi generator di Bus 8 117

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Lampiran 13 Rugi-rugi daya di tiap saluran sistem IEEE 14 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 118

Lampiran 14 Rugi-rugi daya di tiap saluran sistem IEEE 14 Bus saat terjadi generator di Bus 3 119

Lampiran 15 Rugi-rugi daya di tiap saluran sistem IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 1 dan Bus 2 120

Lampiran 16 Rugi-rugi daya di tiap saluran sistem IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi di saluran penghubung Bus 28 dan Bus 27 121

Lampiran 17 Rugi-rugi daya di tiap saluran sistem IEEE 30 Bus saat terjadi kontingensi generator di Bus 8 122

Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, penggunaan energi listrik sudah sangat banyak digunakan pada berbagai sektor. Mulai dari industri hingga rumah tangga sudah banyak menggunakan energi listrik untuk memenuhi keberlangsungan hidup dengan memanfaatkannya sebagai energi yang dapat dikonversi menjadi energi lainnya. Oleh karena itu, kualitas energi listrik yang dibangkitkan dan disalurkan menuju konsumen (beban) harus sama tercapai kepuasan dalam pemakaiannya.

Dalam penyalurannya, energi listrik dapat mengalami berbagai gangguan dan atau rugi-rugi daya. Salah satu gangguan yang menjadi tinjauan adalah terjadinya kontingensi. Kontigensi pada sistem tenaga merupakan suatu keadaan yang sangat tidak diharapkan timbul. Kontingensi terjadi akibat adanya pelepasan pembangkitan atau pelepasan transmisi. Keadaan seperti ini tidak diharapkan terjadi dalam waktu yang berkelanjutan sebab dapat menurunkan kualitas dan keandalan dari sistem tenaga, memicu terjadinya voltage collapse, dan rugi-rugi daya (Qori' Dwi Intansari, 2018). Untuk mencegah terjadinya gangguan akibat kontingensi ini maka perlu dilakukan analisa terhadap aliran daya optimal. Aliran Daya Optimal (*Optimal Power Flow)* merupakan penentuan kondisi optimal pada titik-titik tertentu yang ada pada jaringan. Sehingga dapat diberikan aturan-aturan tertentu pada sistem tenaga yang dapat meliputi pengaturan pembangkitan, strategi operasi, dan ketersedian penyaluran (transmisi) (Nova Gama et al., 2012).

Saat ini, telah banyak dilakukan penelitian mengenai aliran daya optimal serta pengembangan metode optimasinya. Salah satu metode yang digunakan untuk metode optimasi adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). PSO adalah sebuah metode yang terinspirasi dari sifat biologis sekawanan hewan dalam mencari (Angga Sateria et al., 2018). Metode optimasi ini sudah banyak digunakan bagai bidang karena kemampuan kecepatannya dalam mencapai konvergen

Optimized using
trial version
www.balesio.com

yang bersifat cepat. Akan tetapi, dalam mengelola data yang besar PSO mengalami penurunan kecepatan konvergen. Oleh karena itu, PSO kemudian dikembangkan menjadi *Incremental Particle Swarm Optimization* (IPSO) dengan penambahan Partikel untuk meningkatkan kemampuan partikel dalam mencari solusi pada ruang dimensi yang besar (Xiaohua Xu et al., 2012).

Pada tugas akhir ini, dilakukan penelitian dengan judul ALIRAN DAYA OPTIMAL MEMPERTIMBANGKAN KONTINGENSI UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA MENGGUNAKAN METODE *INCREMENTAL PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*. Diharapkan dari penelitian ini, dapat menjadi referensi untuk mengoptimalkan aliran daya listrik dalam keadaan terjadi kontingensi.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana rangking sistem aliran daya ketika terjadi kontingensi pada sistem IEEE 14 Bus dan IEEE 30 Bus?
2. Bagaimana aliran pembebanan yang optimal dalam keadaan terjadi kontingensi dengan metode IPSO?
3. Bagaimana nilai rugi-rugi daya sebelum dan setelah dilakukan optimasi menggunakan IPSO?
4. Bagaimana nilai biaya yang digunakan untuk pembangkitan sebelum dan setelah dilakukan optimasi IPSO?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat rangking sistem aliran daya ketika terjadi kontingensi pada sistem IEEE 14 Bus dan IEEE 30 Bus.
2. Menentukan aliran pembebanan yang optimal dalam keadaan terjadi kontingensi dengan metode IPSO.
3. Menentukan nilai rugi-rugi daya sebelum dan setelah dilakukan optimasi menggunakan IPSO.
4. Menentukan nilai biaya yang digunakan untuk pembangkitan sebelum dan setelah dilakukan optimasi IPSO.

1.4 Manfaat penelitian

1. Memberikan informasi mengenai perangkingan sistem aliran daya setelah terjadi kontingensi pada sistem IEEE 14 Bus dan IEEE 30 Bus.
2. [emberikan informasi mengenai aliran daya optimal pada jaringan distribusi engan metode IPSO ketika terjadi gangguan kontingensi.

3. Memberikan informasi mengenai nilai rugi-rugi daya sebelum dan setelah dilakukan optimasi menggunakan IPSO.
4. Memberikan informasi mengenai nilai biaya yang digunakan untuk pembangkitan sebelum dan setelah dilakukan optimasi IPSO.

1.5 Batasan masalah

Untuk menghindari permasalahan yang terlalu luas maka penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Sistem yang digunakan dalam penelitian adalah sistem IEEE 14 Bus dan sistem IEEE 30 Bus.
2. Keadaan kontingensi 1 yaitu terjadi pelepasan satu saluran transmisi.
3. Keadaan kontingensi 2 yaitu terjadi pelepasan satu pusat pembangkit listrik.
4. Metode optimasi yang digunakan adalah *Incremental Particle Swarm Optimization* (IPSO).
5. *Software* yang digunakan adalah MATLAB.

1.6. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagi berikut :

1. Studi Literatur

   Studi literatur adalah sebuah metode yang berupa kajian penulis atas referensi-referensi dengan cara pengadaan studi dari buku, jurnal, dan artikel-artikel di internet yang dimanfaatkan untuk menunjang penulisan laporan penelitian ini.
2. Pengambilan data

   Pengambilan data dilaksanakan dengan tujuan memperoleh data sekunder dari hak lain untuk digunakan pada penelitian ini. Pengumpulan data dari studi eratur inilah yang kemudian dimanfaatkan sebagai penunjang dari penelitian ıng dilakukan.

Optimized using
trial version
www.balesio.com

3. Pengolahan data

   Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menerapkan serta mensimulasikannya ke dalam *software*.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini berisi mengenai uraian latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi penjelasan mengenai teori-teori materi penelitian yang digunakan sebagai penunjang untuk penelitian yang diperoleh dari sumber ilmiah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian ini berisi rancangan penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, teknik pengumpulan data, dan langkah-langkah yang digunakan pada penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab hasil dan pembahasan ini berisi hasil penelitian yang diperoleh serta pembahasan terkait penelitian yang dilakukan.

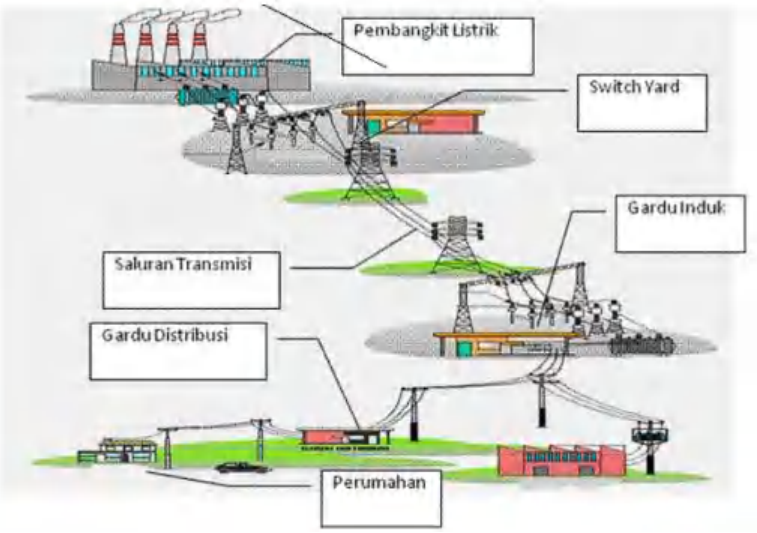
BAB V SARAN DAN KESIMPULAN

Bab ini membahas mengenai kesimpulan yang diperoleh dari penelitian terkait serta saran-saran yang perlu dikaji lebih lanjut.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Tenaga Listrik

Pada dasarnya sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari pembangkitan, transmisi, distribusi, dan beban listrik (konsumen) yang semuanya terhubung untuk memenuhi pasokan energi listrik untuk penggunanya (Suripto, 2010). Saat ini, hampir semua orang memanfaatkan energi listrik untuk menunjang keperluan hidupnya. Oleh karena itu, penyediaan energi listrik harus efektif dan andal sehingga dapat melayani konsumen dengan memuaskan baik secara kualitas maupun kuantitas (Afandi, 2005).



Gambar 1 Skema sistem tenaga listrik

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Adapun fungsi dari komponen – komponen sistem tenaga listrik secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik: merupakan komponen yang berfungsi untuk memproduksi energi listrik dengan mengubah suatu energi mekanik atau energi surya menjadi energi listrik.
2. *Switchyard*: merupakan suatu area pada gardu induk untuk meletakkan peralatan – peralatan utama. Pada umumnya terdapat dua penyebutan untuk area ini: 1) *switchgear*, penyebutan penempatan komponen-komponen utama dari gardu induk pasang dalam. 2) *switchyard*, penyebutan penempatan komponen – komponen utama dari gardu induk pasang luar (Drs. M. Mustaghfirin Amin, 2014).
3. Gardu Induk: Suatu bagian pada sistem tenaga listrik yang terdiri dari berbagai komponen. GI ini umumnya berfungsi untuk mengubah besaran energi listrik yang bertegangan menengah menjadi tegangan tinggi dan juga dari bertegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau tegangan rendah, pengaturan daya menuju gardu - gardu lain, pengukuran, pengawasan, dan operasi (Drs. M.Mustaghfirin Amin, 2014).
4. Transmisi: bagian yang menyalurkan energi listrik mulai dari pembangkit menuju pusat beban. Umumnya, penyaluran transmisi memiliki nilai tegangan yang lebih besar dari penyaluran distribusi. Hal ini dimaksudkan agar rugi-rugi di dapat diminimalisir.
5. Distribusi: bagian yang menyalurkan energi listrik mulai dari pusat beban atau gardu induk menuju beban listrik (konsumen) (Suripto, 2010).

2.2. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya pada sistem tenaga listrik dilakukan untuk menghitung tegangan, tif dan reaktif, dan lain-lain. Studi aliran daya bertujuan untuk entasikan fase tunggal dari jaringan listrik digunakan, karena sistem ı seimbang. Jika sistem tidak berkembang ke ukurannya saat ini, jaringan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

disimulasikan dalam penganalisa jaringan untuk solusi beban. Alat analisa ini adalah model analog miniatur dari sistem kelistrikan dengan resistansi, reaktansi, kapasitansi, autotransformer, trafo, beban, dan generator yang dikurangi (Murty, 2017).

Di dalam analisanya, studi aliran daya memiliki 3 jenis bus, yaitu:

1. *Load bus*: Bus beban adalah bus yang hanya terdiri dari beban yang terhubung pada sistem dan tidak ada pembangkit. Bus ini akan menyerap beban nyata dan reaktif, P_d dan Q_d sumber. Biasanya daya reaktif diperoleh dari permintaan daya aktif dan faktor daya yang diasumsikan. Bus beban juga biasa disebut sebagai bus *P* atau *Q*. Karena permintaan pada sisi beban menggunakan daya aktif P_d dan daya reaktif Q_d, maka 2 variabel lainnya yaitu tegangan dan sudut fasa tidak diketahui pada bus ini. Pada perhitungan keseimbangan daya, daya aktif (P_d) dan daya reaktif (P_q) yang diserap oleh beban dianggap sebagai besaran negatif sedangkan daya aktif (P_g) dan daya reaktif (P_g) yang dibangkitkan dianggap sebagai besaran positif.
2. *Generator bus*: bus generator atau bus pengentrol adalah bus yang dimana nilai tegangannya dapat diubah-ubah. Pada bus ini, terdapat generator yang berfungsi untuk membangkitkan daya aktif yang besar nilainya dapat dikendalikan dengan mengatur masukan prime mover. Selain pengaturan masukannya, pengaturan posisi sumbu rotor juga dapat dilakukan. Di sisi lain, besar tegangan yang dibangkitkan dipengaruhi oleh eksitasi pada generator. Sehingga pada bus generator ini, selain membangkitkan daya nyata P_g juga besar tegangan yang dihasilkannya dapat diatur.
3. *Slack bus*: Pada jaringan transmisi, aliran energi listrik dari generator menuju beban listrik tidak dapat terlepas dari rugi-rugi daya. Persamaan keseimbangan daya listrik saat memasukkan variable rugi-rugi daya menjadi :

$$P_g - P_d - P_l = 0 \quad (1)$$

$$Q_g - Q_d - Q_l = 0 \quad (2)$$

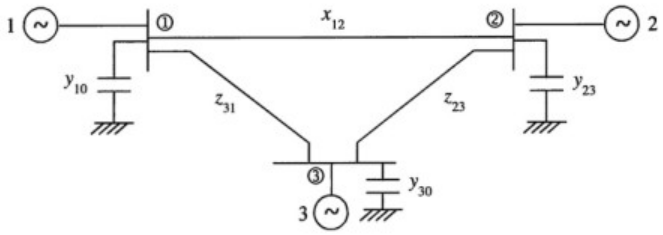
Optimized using
trial version
www.balesio.com

keterangan:

Pg : Daya nyata yang dibangkitkan
Pd : Daya nyata yang dikonsumsi
Pl : Rugi - rugi daya nyata
Qg : Daya reaktif yang dibangkitkan
Qd : Daya reaktif yang dikonsumsi
Ql : Rugi – rugi daya reaktif

2.2.1. Persamaan Studi Aliran Daya

Untuk menyelesaikan suatu kasus pada aliran daya tahap pertama yang dilakukan adalah meninjau admitansi pada tiap-tiap bus (Murty, 2017). Misalnya suatu sistem tenaga yang terdiri dari 3 bus.



Gambar 2 Contoh jaringan sistem tenaga dengan 3 bus

Admitansi pada masing-masing bus direpresentasikan ke bentuk berikut:

$$I_1 = V_1 y_{10} + (V1 - V2) y_{12} + (V1 - V3) y_{13}$$
$$I_2 = V_2 y_{20} + (V2 - V1) y_{21} + (V2 - V3) y_{23}$$
$$I_3 = V_3 y_{30} + (V3 - V1) y_{31} + (V3 - V1) y_{31} \quad (3)$$

Kemudian diubah ke bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{10} + y_{12} + y_{13} & -y_{12} & -y_{13} \\ -y_{12} & y_{20} + y_{12} + y_{23} & -y_{23} \\ -y_{13} & -y_{23} & y_{30} + y_{23} + y_{32} \end{bmatrix}$$
$$\times \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Dimana

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13}$$
$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23}$$
$$Y_{33} = y_{30} + y_{13} + y_{33} \quad (5)$$

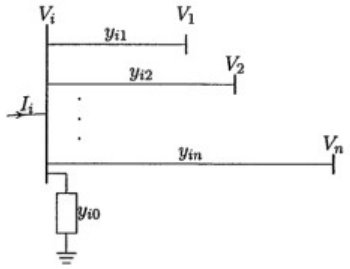
$$Y_{12} = y_{21} = -y_{12}$$
$$Y_{13} = y_{13} = -y_{13}$$
$$Y_{23} = y_{32} = -y_{23} \quad (6)$$

Persamaan dari studi aliran daya digunakan untuk menghitung besar nilai tegangan pada bus - bus tertentu yang satuannya per-unit dengan memanfaatkan persamaan dari hukum Kirchoff mengenai arus:

$$I_0 = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \ldots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (7)$$
$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \ldots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \ldots - y_{in}V_n \quad (8)$$

Atau dapat juga dalam bentuk:

$$I_0 = Vi \sum_{j=0}^{n} yij - \sum_{j=0}^{n} yij \quad (9)$$



Gambar 3 Gambar skema bus secara umum

Pada bus i daya aktif dan daya reaktif dibuatkan persamaan sebagai berikut :

$$Pi + jQi = ViIi \quad (10)$$

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Atau

$$Ii = \frac{Pi - jQi}{Vi} \quad (11)$$

Substitusikan ke persamaan (2.9)

$$\frac{Pi - jQi}{Vi} = Vi \sum_{j=0}^{n} yij - \sum_{j=0}^{n} yijVj \quad (12)$$

2.3. Aliran Daya Optimal

Aliran daya optimal merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan besar kebutuhan daya (Pdemand) pada sisi beban dengan cara melakukan penjadwalan pembangkitan energi listrik untuk efektifitas biaya (Gama, Lisi, Tuegeh, & Nelwan, 2012). Pada perhitungan aliran daya optimal erat kaitannya dengan *Economic Dispatch* (ED). *Economic Dispatch* adalah suatu perhitungan untuk menentukan besar biaya pembangkitan energi listrik dengan seminimal mungkin dengan tetap menghasilkan energi listrik yang sesuai dengan besar kebutuhan beban beserta rugi-ruginya. Kedua metode ini memiliki satuan hasil perhitungan yaitu $/h yang bersifat biaya pembangkitan minimum dan pengoptimalan aliran daya (Wood, Wollenberg, & Sheblé, 2013).

2.3.1. Persamaan Economic Dispatch

Pada persamaan *Economic Dispatch* diketahui:

- Fungsi objektifnya = total biaya pembangkitan dalam satuan $/h
- Setiap generator ditinjau berdasarkan maksimum dan minimum pembangkitan dayanya
- Jumlah pemakaian beban ditambah rugi-ruginya sama dengan jumlah pembangkitan energi listrik

ɔjektifnya adalah:

$$\min \sum_{j=1}^{N_{gen}} F_j(P_{gen_j}) \quad (13)$$

Adapun batas-batas pada generator adalah sebagai berikut:

$$P_{gen_j}^{min} \leq P_{gen_j} \leq P_{gen_j}^{max} \; dimana \; j = 1 \ldots N \quad (14)$$

Pembangkitan, beban, rugi keseimbangan kesetaraan:

$$P_{total\ load} + P_{total\ loss} - \sum_{j=1}^{N_{gen}} P_{gen_j} = 0 \quad (15)$$

Dimana N_{gen} adalah jumlah generator

Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan dari *Economic Dispatch* yaitu:

$$\min f(\underline{P_{gen}, u}) \quad (16)$$

dimana:

$$\underline{P_{gen}} = \begin{bmatrix} P_{gen_1} \\ \vdots \\ P_{gen_{N_G}} \end{bmatrix} \text{ dan } f(\underline{P_{gen}, u}) = \sum_{i=0}^{N_{gen}} F_j(P_{gen_j}) \quad (17)$$

Karna vektor $\underline{u}$ sudah ada pada $f(\underline{P_{gen}, u})$, selanjutnya memasukkannya ke fungsi biaya generator.

$$\omega\left(P_{gen}, P_{total\ load}, P_{total\ loss}\right) = 0$$

Dimana:

$$\omega = P_{total\ load} + P_{total\ loss} - \sum_{j=1}^{N_{gen}} P_{gen_j} \quad (18)$$

$$(P_{gen}, P_{gen_j}^{min}, P_{gen_j}^{max}) \leq 0 \text{ dimana g} = P_{gen_j}^{min} \leq P_{gen_j} \leq P_{gen_j}^{max} \quad (19)$$

Optimized using
trial version
www.balesio.com

2.3.2. Persamaan dari kombinasi Aliran Daya dan Economic Dispatch

Economic Dispatch membahas mengenai perhitungan total biaya yang digunakan seminimal mungkin untuk pembangkitan energi listrik menuju beban dengan tetap menghasilkan daya yang sesuai dengan kebutuhan beban beserta rugi-ruginya. Sedangkan, pada aliran daya tidak membahas mengenai perhitungan batasan-batasan daya aktif dan daya reaktif pada generator. Ketika dua persamaan ini dikombinasikan maka akan menghasilkan titik optimal dalam penyaluran daya listrik menuju beban dengan biaya yang seminimal mungkin. Kombinasi ini disebut aliran daya optimal (Qori'Dwi, 2018). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\min \sum_{i=1}^{N_{bus}} F_i\,(P_{gen_i}) \tag{20}$$

keterangan:

$i =$ indeks pada keseluruhan bus

$F_i(P_{gen_i}) =$ fungsi biaya pembangkitan pada generator i

Batasan pada pembangkitan daya aktif :

$$P_{gen_i}^{min} \leq P_{gen_i} \leq P_{gen_i}^{max} \text{ , dengan } i = 1 \ldots N \tag{21}$$

Batasan pada pembangkitan daya reaktif :

$$Q_{gen_i}^{min} \leq Q_{gen_i} \leq Q_{gen_i}^{max} \text{ , dengan } i = 1 \ldots N \tag{22}$$

Optimized using trial version www.balesio.com

Saat ini kebanyakan sistem tenaga listrik baik di Indonesia maupun di negara lain bersifat interkoneksi (Maryan, 2016). Interkoneksi pada sistem tenaga merupakan hubungan komponen-komponen sistem tenaga listrik seperti beberapa gardu induk yang saling terhubung satu sama lain dan terhubung untuk melayani kebutuhan beban listrik (Tupalessy, Hasanah, & Suyono, 2015). Kelebihan utama dari sistem ini adalah pembangkitan dan penyaluran energi listriknya yang bersifat efisien karena mempermudah penjadwalan pembangkitan walaupun letak antarpembangkit saling berjauhan. Akan tetapi jika ditelusuri lebih dalam sistem interkoneksi ini juga memiliki kekurangan yaitu karena saling terhubung satu sama lain maka jika salah satu komponen utama sistem tenaga listrik mengalami gangguan maka akan mempengaruhi komponen lainnya. Jika gangguan yang ditimbulkan dibiarkan berlangsung pada waktu yang lama maka akan memberikan efek yang sangat fatal pada sistem tenaga.

Perencanaan, perancangan, dan pembangunan sistem tenaga listrik perlu juga menambahkan pertimbangan variabel gangguan yang mungkin terjadi pada sistem tenaga sehingga dapat dilakukan analisa gangguan. Sehingga keberlangsungan dan keandalan dari sistem tenaga listrik dapat tetap terjaga (Tasiam, 2017).

2.4.1. Ketidakseimbangan Arus dan Tegangan

Ketidakseimbangan pada sistem tenaga listrik 3 fasa umumnya terjadi karena beban tidak seimbang. Beban tidak seimbang merupakan keadaan dimana penyebaran beban listrik yang tidak merata dari beban listrik (konsumen) yang menggunakan tegangan rendah terhadap beban yang menggunakan tegangan yang besar. Selain itu, beban tidak seimbang juga terjadi pada situasi penyimpangan pada bank kapasitor seperti sekering putus.

Ketidakseimbangan tegangan memiliki perhatian yang besar ketika terjadi. eimbangan tersebut dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan daya yang n pada peralatan atau mesin listrik serta dapat menimbulkan panas yang pada belitan motor. Hampir sama dengan sisi beban, pada penyearah dengan

Optimized using
trial version
www.balesio.com

menggunakan diode untuk sistem tiga fasa akan mengalami gangguan ketidakseimbangan arus akibat ketidakseimbangan tegangan yang kecil. Jika gangguan pada sistem tenaga adalah arus yang mengalami peningkatan nilai maka gangguan ini harus diatasi secepat mungkin baik dengan langkah awal pencegahan maupun dengan penggunaan peralatan proteksi. Sebab gangguan arus dapat memberikan dampak negatif yang sangat besar baik pada sistem, peralatan, maupun manusia (Mustamam, Lubis, Butar-butar, & Affandi, 2021).

2.5. Kontingensi

Kontingensi pada sistem tenaga listrik adalah peristiwa atau keadaan dari sistem yang tidak beroperasi maupun sedang beroperasi mengalami pelepasan saluran transmisi atau pelepasan pembangkit. Pelepasan komponen ini dapat menurunkan kualitas dan keandalan dari sistem tenaga karena aliran daya yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban beserta rugi-rugi yang terjadi pada sistem transmisi dan distribusi (Arifin, 2019).

2.5.1. Analisa Kontingensi

Analisa kontingensi adalah Analisa kontingensi dilakukan dengan tujuan meninjau kembali kemampuan dan keandalan sistem tenaga listrik untuk beroperasi. Hal ini juga merupakan salah satu upaya untuk mencegah kerusakan yang ditimbulkan saat kondisi kontingensi terjadi. Analisa kontingensi ini diperoleh dengan mengurutkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan yang terjadi. Pengurutannya dilakukan dengan menggunakan *scalar Performance Indices* (PIs) yang mengukur tingkat seberapa besar tingkat pelanggaran yang terjadi (Verma & Niazi, 2012). Nilai
ran terbesar yang terukur dengan PI akan menempati peringkat pertama pada
gan (Abedin, Aini, & Pasupuleti, 2022). Adapun perhitungan PI diperlihatkan
amaan (23) berikut:

Optimized using
trial version
www.balesio.com

$$PI = \sum_{i=1}^{N} \left\| X_{i,est} - X_{max/min} \right\| \quad (23)$$

Dimana:

$X_{i,est}$: Tegangan atau aliran MVA setelah terjadi kontingensi di bus

$X_{max/min}$: Batas nilai MVA atau Tegangan maksimum atau minimum

N : jumlah bus atau saluran transmisi pada sistem tenaga

Persamaan (23) di atas dapat digunakan untuk mengukur perankingan PI MVA dan perankingan PI Voltage Magnitude.

2.6. Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization merupakan sebuah metode optimasi yang terinspirasi dari kemampuan biologis dari sekumpulan hewan yang tidak memiliki pemimpin seperti burung dan ikan. Metode ini dikembangkan oleh seorang psikolog social bernama James Kennedy dan seorang insinyur elektro bernama Russel C. Eberhart pada tahun 1995 (Rini, Shamsuddin, & Yuhaniz, 2011). Berbeda dengan algoritma genetika, PSO memiliki solusi potensial yang juga diberi kecepatan secara acak. Solusi potensial pada PSO disebut "*Particle*".

Pada saat mencari solusi terbaik dari suatu ruang, para Partikel akan mempelajari dan mengkomunikasikan satu sama lain tiap titik solusi yang ditemukan. Tiap solusi yang ditemukan disebut "Pbest". Kemudian dari sekian banyak Pbest pada dimensi ruang yang terekam ditemukan sebuah solusi terbaik yang dinamakan "Gbest". Di tiap waktu dan titik penemuan dari Partikel dalam mencari Pbest dan Gbest mengalami perubahan kecepatan (Eberhart & Kennedy, 1995). Adapun ekuasi dari PSO dapat dilihat pada persamaan (24) dan persamaan (25) berikut:

$$x_j(i) = x_1(1), x_2(2), \dots, x_{jN}(i) \quad (24)$$

$$v_j(i) = v_1(1), v_2(2), \dots, v_{jN}(i) \quad (25)$$

Optimized using
trial version
www.balesio.com

an:

x : posisi partikel

v : kecepatan partikel

i : iterasi ke- i

j : indeks partikel

N : jumlah partikel

PSO bekerja dengan tahapan mengukur kecepatan partikel terhadap perubahan kecepatan sebelumnya, jarak posisi yang menjadi tinjauan terhadap titik potensial lainnya dan terhadap potensial terbaik (Sateria, Saputra, & Dharta, 2018). Untuk mengukurnya digunakan persamaan berikut :

$$v_j(i) = v_j(i-1) + c_1 r_1 \left(P_{best,j} - x_j(i-1)\right) + c_2 r_2 (G_{best} - x_j(i-1)) \quad (26)$$

Selanjutnya untuk memperbarui posisi dari partikel dalam menemukan Gbest memakai persamaan berikut:

$$x_j(i) = v_j(i) + x_j(i-1) \quad (27)$$

Keterangan:

j : jumlah partikel

P_{best} : solusi potensial yang ditemukan

G_{best} : solusi terbaik yang ditemukan

c_n : *learning factor*

r_n : konstanta acak dengan nilai 0 atau 1

2.7. Incremental Particle Swarm Optimization

Sekarang ini metode PSO sudah banyak digunakan pada berbagai bidang seperti di *engineering* dan sebagainya. Kemudian diketahui bahwa PSO memiliki kelemahan yaitu tingkat kecepatan konvergensinya yang mengalami penurunan. Pada konvergensi awal, PSO memang memiliki kecepatan yang tinggi. Akan tetapi, setelah ruang dimensinya berevolusi/berkembang maka kemampuannya dalam mencapai titik

n akan menurun. Oleh karena itu, PSO kemudian ditingkatkan ıannya dengan menambah bobot inersianya, factor kendala, dan jumlah

partikelnya. Peningkatan kemampuan ini disebut *Incremental Particle Swarm Optimization* (Xu, Pan, Xi, & Chen, 2012).

Sebelum dilakukan penambahan partikel baru pada pencarian solusi potensial di ruang dimensi terlebih dahulu partikel baru tersebut diinisialisasikan dengan pengetahuan dan pengalaman dari partikel yang sudah berpengalaman. Hal ini dimaksudkan agar posisi awal dari partikel baru tadi dalam memulai pencarian solusi optimal itu semakin dekat dengan solusi terbaik. Sehingga kecepatan konvergensi dari optimasi ini tetap bersifat cepat. Partikel yang baru ini dinamakan partikel model (De Oca, Stutzle, Van den Enden, Dorigo, & Cybernetics, 2010). Penambahan partikel baru ini dapat dilihat pada persamaan (28) berikut:

$$x'_{new,j} = x_{new,j} + U.(p_{model,j} - x_{new,j}) \quad (28)$$

Keterangan:

$x'_{new,j}$: posisi terbaru dari perkembangan partikel

$x_{new,j}$: posisi terbaru dari partikel asli

$p_{model,j}$: posisi dari partikel model

2.8. State of The Art

Pada bagian *State of The Art* ini ditampilkan beberapa penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai bahan acuan penulis dalam melaksanakan penelitian. Tabel 1 memperlihatkan tabel *State of The Art* yang berisikan penelitian-penelitian yang telah membahas kasus kontingensi pada sistem tenaga dengan menggunakan metode-metode tertentu beserta hasil penelitiannya.

Tabel 1 State of The Art

Terbitan	Penulis/Tahun	Judul	Metode	Hasil	Review	Artikel
International Conference on Robotic	Tarek Abedin, Nur Aini, Dheena Dhayani A/P Sivanyanam/2021	Application Contingency Analysis of An IEEE 30 Bus System Using Matpower	Newton Rapshon	Analisa kontingensi dengan MATPOWER dapat memberikan gambaran terkait keadaan paling kritis dari skenario yang dijalankan	Secara umum pada penelitian ini pembaca dapat memahami penerapan kontingensi pada sistem tenaga menggunakan MATPOWER	(Abedin et al., 2022)

Optimized using
trial version
www.balesio.com

Lanjutan Tabel 1 State of The Art

Terbitan	Penulis/Tahun	Judul	Metode	Hasil	Review	Artikel
UNHAS	Willy A.F. Akbar Ajami/208	*Optimal Power Flow* Pada Sistem Interkoneksi Memperhatikan Fluktuasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berbasis *Incremental Particle Swarm Optimization*	*Incremental Particle Swarm Optimization*	Metode IPSO dalam optimasi aliran daya mampu menaikkan tegangan serta mengurangi rugi-rugi daya	Secara umum pada penelitian ini pembaca dapat memahami hasil dari perbandingan metode PSO dan IPSO serta pengaruh pembangkit listrik tenaga angin	(Ajami, 2018)

Optimized using
trial version
www.balesio.com