

**OPTIMAL REACTIVE POWER DISPATCH (ORPD) MENGGUNAKAN
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED ON INDIVIDUAL
DIFFERENCE EVOLUTION ALGORITHM (IDE-PSO)**



**Muh. Ridhwan
D032171014**

Dosen Pembimbing:

Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.

Dr. Ir. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

(TESIS)

**OPTIMAL REACTIVE POWER DISPATCH (ORPD) MENGGUNAKAN
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED ON INDIVIDUAL
DIFFERENCE EVOLUTION ALGORITHM (IDE-PSO)**

Disusun dan diajukan oleh

Muh. Ridhwan

D032171014



**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

OPTIMAL REACTIVE POWER DISPATCH (ORPD) MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION BASED ON INDIVIDUAL DIFFERENCE EVOLUTION ALGORITHM (IDE-PSO)

Disusun dan diajukan oleh

(Muh. Ridhwan)

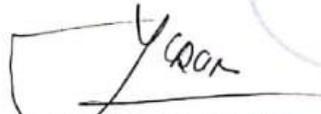
(D032171014)

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 09 Juli dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.
Nip. 197504042000121001



Dr. Ir. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.
Nip. 19731118 199803 2 001



Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng.
Nip. 197505301999031003



Dekan Fakultas Teknik,

Prof. Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, M.T.
Nip. 196012311986091001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muh. Ridhwan

Nim : D032171014

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) Menggunakan Particle Swarm Optimization Based On Individual Difference Evolution Algorithm (IDE-PSO)

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

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

Makassar , 11 Agustus 2021

Yang Meyatakan



Muh. Ridhwan

KATA PENGANTAR

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatu

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamin kami ucapkan kepada Allah SWT selaku Rabb yang telah mengaruniakan kepada penulis begitu banyak nikmat, sehingga penulisan Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Dan tidak lupa pula penulis kirimkan salam dan shalawat kepada Rasulullah SAW atas cahaya akhlaknya yang diteladani, sebagai inspirasi penulisan Tesis ini.

Penulisan Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Magister (S2) pada program studi teknik elektro di Kampus Universitas Hasanuddin (UNHAS) Makassar, dengan judul ***“Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) Menggunakan Particle Swarm Optimization Based on Individual Difference Evolution Algorithm (IDE-PSO)”***

Banyak kesulitan dan masalah yang penulis dapatkan dalam proses penulisan Tesis ini, akan tetapi dengan izin Allah SWT yang melalui perantaraan para pembimbing kami dan semua pihak-pihak yang telah terlibat dalam memberikan bantuannya, maka penulisan tesis ini dapat penulis selesaikan dengan baik, sehingga dengan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program studi Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin
2. Bapak Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T. selaku pembimbing I
3. Bapak Dr. Ir. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T. selaku pembimbing II
4. Tim Penguji Tesis
5. Para Dosen Universitas Hasanuddin, Program Studi Teknik Elektro

6. Segenap Staf dan Pegawai Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa
7. Teman seangkatan dan seperjuangan Teknik Elektro Universitas Hasanuddin tahun 2017
8. Seluruh keluargaku yang senantiasa memberikan dorongan dan motivasi.

Semoga Tesis ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi dalam penelitian, pendidikan, pengabdian dan pengembangan ilmu pengetahuan kedepannya. Guna membina generasi muda yang berkualitas dan berdaya saing.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang perlu ditambahkan, karena kesempurnaan itu hanyalah milik Allah SWT, untuk itu sangatlah dibutuhkan kritik dan saran dari berbagai pihak guna kesempurnaan dari pembuatan penulisan Tesis berikutnya .

Billahi Taufiq Walhidayah, Wassalamualaikum Wr.Wb.

Makassar, 11 Agustus 2021
Penulis

Muh. Ridhwan

DAFTAR ISI

Judul	i
Halaman Judul.....	ii
Lembar Pengesahan	iii
Pernyataan Keaslian	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar.....	xi
Abstrak	xi

BAB I Pendahuluan

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5

BAB II Tinjauan Pustaka

2.1. <i>Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)</i>	7
2.2. Aliran Daya	9
2.3. PSO, IPSO dan <i>Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Individual Difference Evolution Algorithm (IDE-PSO)</i>	11
2.4. Mekanisme IDE	16
2.5. Penelitian Terkait	18
2.6. Rancangan Sistem	27

BAB III Metode Penelitian

3.1. Pemodelan dan Perancangan.....	27
3.2. Kerangka Pikir	29

BAB IV Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Sistem IEEE 30 bus 14 bus dan Jawa-Bali 500 kV	30
4.2. Hasil Simulasi <i>Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)</i> Menggunakan <i>Particle Swarm Optimization Based on Individual Difference Evolution</i> <i>Algorithm (IDE-PSO)</i>	38
4.3. Perbandingan Hasil Simulasi Sebelum Pengoptimalan dan Setelah Pengoptimalan dengan PSO dan IDE-PSO	41
4.4. Perbandingan Rugi Daya IDE-PSO dan RGA	54
4.5. Validasi	54

BAB V Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Bus IEEE 30 Bus Sistem	31
Table 4.2. Data Saluran Sistem IEEE 30 Bus	32
Tabel 4.3. Data Bus IEEE 14 Bus Sistem	37
Tabel 4.4. Data Saluran Sistem IEEE 14 Bus	37
Tabel 4.5. Data Bus Sistem Jawa-Bali 500 kV	39
Tabel 4.6. Data Saluran Sistem Jawa-Bali 500 kV	40
Tabel 4.7. Parameter yang di Gunakan	38
Tabel 4.8. Batas Variabel Kontrol.....	38
Tabel 4.9. Nilai Variabel Kontrol Setelah Pengoptimalan Dengan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	40
Tabel 4.10. Nilai Variabel Kontrol Setelah Pengoptimalan Dengan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus	41
Tabel 4.11. Nilai Variabel Kontrol Setelah Pengoptimalan Dengan IDE-PSO Untuk Sistem Jawa-Bali 500 kV	45
Tabel 4.12. Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	42
Tabel 4.13. Perbandingan Variabel Kontrol Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	42
Tabel 4.14. Perbandingan Magnitudo Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	43
Tabel 4.15. Perbandingan Waktu Konvergensi Untuk IEEE 30 Bus.....	45
Tabel 4.16. Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO untuk IEEE 14 Bus	46
Tabel 4.17. Perbandingan Variabel Kontrol Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus	46
Tabel 4.18. Perbandingan Magnetudo Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus	47
Tabel 4.19. Perbandingan Waktu Konvergensi Untuk IEEE 14 Bus.....	48

Tabel 4.20. Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO untuk Sistem Jawa-Bali 500 kV	53
Tabel 4.21. Perbandingan Variabel Kontrol Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk Sistem Jawa-Bali 500 kV	53
Tabel 4.22. Perbandingan Magnitudo Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoptimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk Sistem Jawa-Bali 500 kV	54
Tabel 4.23. Perbandingan Rugi Daya IDE-PSO dan RGA untuk IEEE 30 bus ...	55
Tabel 4.24. Perbandingan Rugi Daya IDE-PSO dan RGA untuk IEEE 14 bus ...	55
Tabel 4.25. Perbandingan Magnitudo Tegangan untuk IEEE 30 Bus	56
Tabel 4.26. Perbandingan Rugi Daya untuk IEEE 30 Bus	57
Tabel 4.27. Perbandingan Magnitudo Tegangan Untuk IEEE 14 Bus	58
Tabel 4.28. Perbandingan Rugi Daya untuk IEEE 14 Bus	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Representasi Transformator	11
Gambar 3.1. ORPD Menggunakan <i>Particle Swarm Optimization Based on Individual Difference Evolution Algorithm (IDE PSO)</i>	28
Gambar 3.2. Bagan Kerangka Pikir	29
Gambar 4.1. Diagram Garis Tunggal IEEE 30 Bus Sistem	30
Gambar 4.2. Diagram Garis Tunggal IEEE 14 Bus Sistem	36
Gambar 4.3. Diagram Garis Tunggal Sistem Jawa-Bali 500 kV	38
Gambar 4.4. Konvergensi Menggunakan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	39
Gambar 4.5. Konvergensi Menggunakan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus	40
Gambar 4.6. Konvergensi Menggunakan IDE-PSO Untuk Jawa-Bali 500 kV ..	44
Gambar 4.7. Perbandingan Pofil Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus ..	45
Gambar 4.8. Perbandingan Kurva Konvergensi Untuk Hasil Terbaik PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 30 Bus	46
Gambar 4.9. Perbandingan Pofil Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus ..	47
Gambar 4.10. Perbandingan Kurva Konvergensi Untuk Hasil Terbaik PSO dan IDE-PSO Untuk IEEE 14 Bus	48
Gambar 4.11. Perbandingan Pofil Tegangan Bus Sebelum dan Setelah Pengoimalan Dengan PSO dan IDE-PSO Untuk Siste Jawa-Bali 500 kV	55
Gambar 4.12. Perbandingan Kurva Konvergensi Untuk Hasil Terbaik PSO dan IDE-PSO Untuk Jawa-Bali 500 kV	55

ABSTRAK

Muh. Ridhwan. *Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) Menggunakan Particle Swarm Optimization Based on Individual Difference Evolution Algorithm (IDE-PSO).*

Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) adalah masalah pengoptimalan non-linear. Tujuan utama dari solusi ORPD adalah menentukan pengaturan operasi yang optimal pada sistem kelistrikan berupa pengaturan tegangan bus generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt dengan memperhatikan kendala operasi. Variabel kontrol dioptimalkan untuk memenuhi fungsi objektif berupa minimalisasi rugi daya aktif yang memenuhi standar tegangan yang berlaku. Algoritma yang digunakan dalam proses pengoptimalan adalah *Particle Swarm Optimization algorithm based on Individual Difference Evolution (IDE-PSO)* yang merupakan pengembangan dari PSO. Program diimplementasikan pada sistem IEEE 30 Bus dan IEEE 14 Bus. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai variabel kontrol yang menghasilkan rugi daya aktif minimum. Perbandingan hasil simulasi antara kondisi sebelum pengoptimalan, setelah pengoptimalan menggunakan PSO, menggunakan IDE-PSO dilakukan dalam penelitian ini. Hasil simulasi pada sistem IEEE 30 Bus menunjukkan bahwa nilai total rugi daya aktif turun sebesar 0,245 MW dari 17,557 MW sebelum dioptimalkan. Untuk sistem IEEE 14 Bus rugi daya aktif turun sebesar 0,911 MW dari 13,545 MW sebelum dioptimalkan. Untuk sistem Jawa-Bali 500 kV rugi daya aktif turun sebesar 28,594 MW dari 380,289 MW sebelum di optimalkan. Hasil perbandingan algoritma simulasi menunjukkan bahwa algoritma IDE-PSO lebih efektif dalam menyelesaikan masalah ORPD yang di tunjukkan dengan persentase penurunan rugi daya aktif yang lebih besar. Pada sistem IEEE 30 Bus persentase penurunan rugi daya aktif menggunakan IDE-PSO sebesar 1,39%, sementara untuk PSO 1,13%. Pada sistem IEEE 14 Bus persentase penurunan rugi daya aktif menggunakan IDE-PSO sebesar 7,21%, sementara untuk PSO 1,91%. Pada sistem Jawa-Bali 500 kV persentase penurunan rugi daya aktif menggunakan IDE-PSO sebesar 8,13% sementara untuk PSO 1,40%.

Kata Kunci: *Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD), Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Individual Difference Evolution (IDE-PSO), Sistem IEEE 30 Bus, Sistem IEEE 14 Bus, Variabel Kontrol, Rugi Daya Aktif.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) adalah masalah optimal non-linear. Tujuan utama dari solusi ORPD adalah menentukan pengaturan operasi yang aman dan terbaik dari sistem kelistrikan seperti tegangan generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt dengan kendala operasi dalam sistem kelistrikan. Variabel kontrol dioptimalkan untuk fungsi objektif tertentu seperti peningkatan profil tegangan, dan minimalisasi rugi daya [1].

ORPD memiliki pengaruh signifikan terhadap operasi sistem tenaga yang aman. Pengoptimalan daya reaktif adalah subproblem dari perhitungan *Optimal Power-Flow* (OPF), yang menentukan semua jenis variabel yang dapat dikontrol, seperti tegangan generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt, dan meminimalkan kehilangan transmisi atau fungsi objektif lainnya yang sesuai, memenuhi serangkaian kendala fisik dan operasi.

Rasio tap transformator dan output kapasitor shunt memiliki sifat diskrit, sementara output daya reaktif generator, magnitudo tegangan bus, adalah variabel kontinu, masalah optimisasi daya reaktif dapat diformulasikan dengan tepat menggunakan model pemrograman mixed-integer/nonlinear yaitu sebagai masalah optimisasi nonlinier dengan campuran variabel diskrit dan kontinu [2].

Beberapa model matematika dan teknik konvensional seperti algoritma berbasis gradien dan metode Newton telah diterapkan untuk menyelesaikan masalah ini. Hanya saja metode ini mengalami keterbatasan dalam menangani

fungsi dan kendala non-linear, diskrit-kontinu. Akhir-akhir ini berbagai macam metode pencarian stokastik telah dikembangkan untuk memecahkan masalah optimal seperti *Genetic Algorithm (GA)*, *Particle Swarm Optimisation (PSO)*, *Differential Evolution (DE)* dan seterusnya [3].

Algoritma yang banyak di kembangkan adalah PSO seperti penggabungan algoritma PSO dengan algoritma lainnya, Sebagai stokastik algoritma pengoptimalan, PSO telah menarik banyak perhatian peneliti di seluruh dunia, yang telah menghasilkan banyak varian dari algoritma dasar, sebahagian besar pemilihan parameter/strategi kontrol. Namun sebahagian besar algoritma ini mengembangkan populasi mereka menggunakan pola tunggal yang tetap, sehingga mengurangi kecerdasan seluruh kawanan.

Varian PSO mengadopsi strategi evolusi multimode, tetapi tidak memiliki kemampuan beradaptasi yang dinamis. Persaingan antar partikel diabaikan, tanpa mempertimbangkan kemampuan berfikir atau pengambilan keputusan individu, sedangkan *Improved Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Individual Difference Evolution (IDE-PSO)*, algoritma ini mengalokasikan koefisien kompetisi yang disebut status emosional ke setiap partikel untuk mengukur perbedaan individu, memisahkan seluruh kelompok menjadi tiga subkelompok, dan memilih metode evolusi spesifik untuk setiap partikel sesuai dengan status emosional dan fitness saat ini. Nilai koefisien disesuaikan secara dinamis sesuai dengan kinerja evolusi masing-masing partikel, strategi berulang yang dimodifikasi digunakan untuk meregenerasi partikel yang sesuai dan meningkatkan keragaman populasi [1, 4].

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan nilai variabel kontrol optimal berupa tegangan bus generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt, guna menghasilkan rugi daya aktif yang minimum untuk kasus ORPD pada sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV.
2. Bagaimana mendapatkan perbandingan hasil simulasi sebelum dan setelah optimisasi menggunakan algoritma PSO dan IDE-PSO pada sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan nilai-nilai variabel kontrol optimal berupa tegangan bus generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt, sehingga menghasilkan rugi daya aktif minimum pada sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV.
2. Mendapatkan hasil perbandingan simulasi sebelum dan setelah optimisasi menggunakan algoritma PSO dan IDE-PSO pada sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV.

1.4. Batasan Masalah

Batasan Masalah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Metode yang di gunakan adalah PSO dan IDE-PSO

2. Objek penelitian adalah sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan sistem Jawa-Bali 500 kV.
3. Cakupan simulasi hanya meliputi pencarian nilai-nilai variabel kontrol optimal berupa tegangan bus generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt, yang menghasilkan rugi daya aktif yang minimum dengan memperhatikan konstrain tegangan.
4. Unsur ekonomis tidak di bahas dalam penelitian ini.
5. Sistem beroperasi dalam keadaan normal tanpa gangguan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh dari penepelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan masukan bagi pihak operator sistem ketenagalistrikan khususnya dalam masalah *Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)*
2. Sebagai bahan literatur bagi penelitian lanjutan yang sesuai dengan topik ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terdiri dari 5 bab yaitu:

- Bab I Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang penelitian yang mendasari pengambilan topik penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

- Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini membuat uraian sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik yang diteliti.

- Bab III Metode Penelitian

Bab ini berisi tentang rancangan sistem untuk menyelesaikan masalah penelitian. Kerangka pikir penelitian termasuk dalam bab ini.

- Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisi tentang hasil yang di dapatkan serta uraian terhadap hasil tersebut. Hasil berasal dari pengolahan data penelitian sesuai dengan metode yang di tetapkan sebelumnya. Pembahasan berisi penjelasan terkait hasil yang telah di dapatkan.

- Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi kesimpulan dan saran. Kesimpulan merupakan pernyataan secara general atau spesifik yang berisi hal-hal penting dan menjadi temuan penelitian yang bersumber pada hasil dan pembahasan. Saran merupakan pernyataan atau rekomendasi peneliti yang berisi hal-hal penting yang perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka dari penelitian ini memuat uraian secara umum tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang terkait dengan *Optimal Reactive Power Dispatch* (ORPD), *Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Individual Difference Evolution* (IDE-PSO) dan tinjauan penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti lain.

2.1. *Optimal Reactive Power Dispatch* (ORPD)

Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) adalah masalah pengoptimalan pada sistem tenaga listrik yang mengatur pembangkitan daya reaktif pada generator untuk meminimalkan rugi daya aktif pada saluran transmisi dengan tetap menjaga semua parameter berada pada nilai yang diizinkan. Hilangnya daya ini adalah fungsi non linear dari tegangan-tegangan bus. ORPD memiliki dampak penting pada penurunan daya dari saluran transmisi dan menyesuaikan penyimpangan tegangan. Parameter yang digunakan untuk ORPD adalah tegangan generator, tap transformator dan daya kapasitor shunt [4].

Beberapa model matematika dan teknik konvensional seperti algoritma berbasis gradien dan metode Newton telah diterapkan untuk menyelesaikan masalah ini. Sayangnya, metode ini mengalami keterbatasan dalam menangani fungsi dan kendala non-linear, diskrit-kontinu [3].

Fungsi Objektif

Pengurangan penyimpangan tegangan dan peningkatan stabilitas tegangan adalah fungsi tujuan yang di pertimbangkan dalam solusi masalah ORPD.

Konvergensi pada bagian ini fokus pada minimalisasi total rugi daya aktif dengan penerapan algoritma IDE-PSO yang di usulkan, yang dapat di definisikan sebagai berikut:

$$P_{loss} = \sum_{k \in N_E} g_k (v_i^2 + v_j^2 - 2v_i v_j \cos \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

- $k = (i, j)$: Total bus
- $j \in N_i$: Pengaturan bus untuk bus i , termasuk bus i
- P_{loss} : Total rugi daya aktif pada sistem transmisi
- g_k : Konduktansi pada percabangan k (pu)
- v_i, v_j : Magnitudo tegangan (pu) pada bus i dan j
- θ_{ij} : Perbedaan sudut beban antara bus i dan j (rad)

Equality constraints:

Fungsi subjek *equality and inequality constraints* Batasan *equality* adalah persamaan keseimbangan daya yang dinyatakan sebagai berikut:

Persamaan keseimbangan aliran daya aktif pada semua bus kecuali bus slack

$$P_{Gi} - P_{Di} = V_i \sum_{j \in N_i} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Persamaan keseimbangan aliran daya reaktif pada semua bus PQ (bus beban)

$$Q_{Gi} - Q_{Di} = V_i \sum_{j \in N_i} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \dots \dots \dots (2.3)$$

Inequality constraints:

Batas daya reaktif generator untuk setiap generator atau bus

$$Q_{gi}^{min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{max}, i \in N_B \dots \dots \dots (2.4)$$

Batasan magnitudo tegangan untuk setiap bus

$$v_i^{min} \leq v_i \leq v_i^{max}, i \in N_B \dots\dots\dots (2.5)$$

Tap transformator setting

$$T_k^{min} \leq T_k \leq T_k^{max} \dots\dots\dots (2.6)$$

Batasan kapasitor shunt

$$Q_{Ci}^{min} \leq Q_{Ci} \leq Q_{Ci}^{max} \dots\dots\dots (2.7)$$

Batasan aliran daya dari setiap saluran transmisi

$$S_i \leq S_i^{max} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- P_{Gi} dan Q_{Gi} : Pembangkit listrik daya aktif dan reaktif di bus i
- P_{Di} dan Q_{Di} : Beban aktif dan reaktif di bus i
- V_i dan V_j : Besarnya tegangan pada bus i dan j
- G_{ij} dan B_{ij} : *Conductance* and *susceptance* pada saluran transmisi i-j
- θ_{ij} : Perbedaan sudut dari saluran transmisi i-j.
- T_k^{min} dan T_k^{max} : Pengaturan Tap Transformator maximum dan minimum
- S_i dan S_i^{max} : Min dan max aliran daya dari setiap saluran transmisi
- Q_{Ci}^{min} dan Q_{Ci}^{max} : Min dan max kapasitor shunt

ORPD harus dilakukan dengan tujuan untuk mengendalikan peralatan kontrol untuk mengoptimalkan aliran daya reaktif pada saluran transmisi, mengurangi rugi daya aktif, kehilangan tegangan, dan meningkatkan kualitas tegangan, membuat peralatan listrik bekerja dengan aman dan andal. IDE dan PSO adalah algoritma optimisasi berbasis populasi. Karena karakteristik konvergensi yang sangat baik dan beberapa parameter kontrol, IDE dan PSO telah diterapkan

untuk mendapatkan solusi optimal untuk beberapa masalah bernilai nyata secara efisien [5].

2.2. Aliran Daya

Analisis tentang ORPD, tidak bisa terlepas dengan studi aliran daya itu sendiri yang secara umum dikenal sebagai aliran beban. Aliran daya diperlukan untuk tujuan perencanaan, penjadwalan ekonomis, dan pengontrolan pada sistem yang sudah ada, demikian juga untuk tujuan rencana pengembangan sistem. Masalah utamanya terdiri atas menentukan magnitud dan sudut fase tegangan pada setiap bus serta menentukan daya aktif dan reaktif di setiap saluran transmisi [6].

Pengaturan daya reaktif dan tegangan dilakukan dengan mengatur produksi dan penyerapan daya reaktif pada setiap bagian dari sistem tenaga listrik. Selain pengaturan pada sisi pembangkit, yaitu dengan pengaturan eksitasi generator, pengaturan peralatan tegangan lain harus dilakukan untuk menjaga tegangan di keseluruhan sistem tetap pada batas yang diperbolehkan. Peralatan tambahan tersebut salah satunya adalah sumber atau beban daya reaktif, seperti kapasitor shunt dan transformator pengatur, seperti transformator yang dilengkapi dengan pengaturan tap. Pengaturan daya reaktif dan tegangan dilakukan dengan menggunakan beberapa cara berikut:

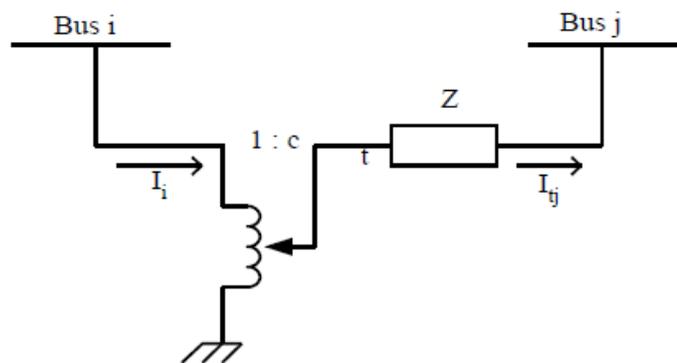
- **Pengaturan eksitasi pada generator**

Dengan mengatur arus eksitasi, tegangan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Untuk menaikkan tegangan, arus eksitasi dapat ditambah dan berlaku juga sebaliknya. Yang dimaksud dengan eksitasi atau biasa disebut sistem penguatan adalah suatu perangkat yang memberikan arus penguat kepada kumparan

medan generator arus bolak-balik (alternating current) yang dijalankan dengan cara membangkitkan medan magnetnya dengan bantuan arus searah [7].

- **Pengaturan tap transformator**

Transformator daya umumnya dilengkapi dengan tap pada lilitannya untuk mengubah besarnya tegangan yang keluar dari transformator. Perubahan tegangan dilakukan dengan merubah posisi tap transformator. Nilai tap transformator akan mempengaruhi rasio transformator yang terkoneksi ke sistem tenaga listrik. Tap transformator bekerja untuk mempertahankan nilai tegangan pada sisi sekunder transformator agar bertahan pada tegangan yang diinginkan saat tegangan pada sisi primer berubah [6,7].



Gambar 2.1 Representasi transformator

Pengaturan dengan transformator regulasi jenis pengatur tegangan hampir semua transformator menyediakan sadapan pada kumparan untuk menyetel perbandingan transformasi dengan mengubah sadapan itu pada saat transformator tidak bertenaga. Suatu perubahan sadapan dapat dilakukan juga pada saat transformator bertenaga, dan transformator semacam itu disebut transformator pengubah sadapan beban (load tap changing – LTC transformer) atau transformator

pengubah sadapan dalam keadaan berbeban (tap changing under load – TCUL transformer). Pengubahan sadapan ini terjadi secara otomatis dan dikerjakan oleh motor yang memberikan reaksi pada rel-rel yang disetel untuk menahan tegangan pada tingkat yang telah ditentukan. Rangkaian khusus memungkinkan perubahan ini tanpa memutuskan arusnya (Stevenson: 1994) [8].

- **Kapasitor Shunt**

Digunakan untuk memperbaiki drop tegangan secara lokal dilokasi tertentu. Penempatan kapasitor shunt pada bus, saluran transmisi/distribusi dan beban. Kapasitor sebagai pencatu var dapat dihubungkan secara tetap, tetapi sebagai pengatur tegangan dapat dihubungkan atau diputuskan sesuai dengan permintaan beban [8].

Kapasitor bank berfungsi sebagai salah satu alternatif dalam peralatan listrik terhadap koreksi faktor daya (power factor). Kapasitor akan memberikan daya reaktif lebih tinggi jika bekerja pada tegangan yang lebih tinggi, meskipun bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari pada tegangan jaringan standar, kapasitor akan bekerja secara efektif dan tahan lama.

Ketidakstabilan tegangan terutama terjadi karena ketidakseimbangan daya reaktif. Kemampuan bus dalam sistem daya tergantung pada dukungan daya reaktif yang dapat diterima bus dari sistem. Suatu sistem tenaga memasuki keadaan ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, peningkatan daya permintaan beban atau perubahan kondisi sistem yang menyebabkan penurunan tegangan yang progresif dan tidak terkendali. Ketika sistem mendekati titik maksimum atau ke titik

runtuhnya tegangan, kerugian daya nyata dan reaktif meningkat dengan cepat. Oleh karena itu dukungan daya reaktif harus memadai untuk memenuhi persyaratan.

Ketidakstabilan tegangan menyebabkan kekurangan daya reaktif dan berkurangnya tegangan. Fenomena ini dapat dilihat dari alur aliran daya lanjutan dari daya yang ditransfer versus tegangan pada ujung penerima. Muatan maksimum yang dapat dipenuhi oleh sistem sebelum mencapai titik hidung disebut margin pemuatan sistem.

Ketika transfer daya meningkatkan tegangan pada ujung penerima berkurang. Ini akhirnya mengarah ke titik kritis di mana daya reaktif sistem rendah dalam pasokan daya. Setiap peningkatan lebih lanjut dalam transfer daya aktif akan selalu menyebabkan penurunan cepat dalam besarnya tegangan. Sebelum mencapai titik kritis, penurunan voltase besar terjadi karena kehilangan daya yang lebih reaktif. Pada kondisi ini, satu-satunya cara untuk menyelamatkan sistem dari keruntuhan tegangan adalah dengan mengurangi permintaan beban daya reaktif atau menambah daya reaktif tambahan [6].

2.3. PSO, IPSO dan *Particle Swarm Optimization algorithm based on Individual*

Difference Evolution Algorithm (IDE-PSO)

A. PSO

PSO adalah metode pengoptimalan berbasis populasi yang cepat, sederhana dan efisien. Ini adalah teknik pencarian yang melacak evolusinya ke gerakan kawanan burung mencari makanan. Dalam ilmu komputer solusi yang dihasilkan secara acak menyebar menuju solusi optimal melalui sejumlah iterasi. PSO mengoptimalkan masalah dengan memiliki populasi solusi kandidat, di sini dijuluki

partikel, dan memindahkan partikel-partikel ini di dalam ruang pencarian sesuai dengan rumus matematika sederhana atas posisi dan kecepatan partikel.

Setiap pergerakan partikel dipengaruhi oleh posisi lokalnya yang paling terkenal dan juga dipandu ke posisi yang paling terkenal di ruang pencarian, yang diperbarui ketika posisi yang lebih baik ditemukan oleh partikel lain. Ini diharapkan untuk memindahkan gerombolan ke arah solusi terbaik [5].

PSO awalnya diusulkan oleh Kennedy sebagai simulasi perilaku sosial, dan awalnya diperkenalkan pada tahun 1995 sebagai metode optimasi. PSO terkait dengan kehidupan artifisial, dan khususnya untuk teori yang berkerumun, dan juga dengan perhitungan evolusi, terutama strategi evolusi dan algoritma genetika. PSO dapat dengan mudah diimplementasikan dan secara komputasi, karena persyaratan kecepatan memori dan CPU-nya rendah [9].

Setiap partikel memperbarui posisinya berdasarkan posisi terbaiknya sendiri, posisi terbaik global di antara partikel-partikel dan vektor kecepatan sebelumnya sesuai dengan persamaan berikut:

$$v_i^{k+1} = w \times v_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - x_i^k) + c_2 \times r_2 \times (P_{best} - x_i^k) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

v_i^{k+1} : *Velocity* i^{th} partikel $(k+1)^{th}$ pada iterasi

w : *Inertia weight* pada partikel

v_i^k : *Velocity* i^{th} partikel k^{th} pada iterasi

c_1, c_2 : Nilai konstanta positive antara [0, 2.5]

r_1, r_2 : Angka yang di buat secara acak antara [0, 1]

- p_{best_i} : Posisi terbaik i^{th} partikel di peroleh berdasarkan pengamannya sendiri
- g_{best} : Posisi terbaik global dari partikel dalam populasi
- x_i^{k+1} : Posisi i^{th} partikel $(k+1)^{th}$ pada iterasi
- x_i^k : Posisi i^{th} partikel k^{th} pada iterasi
- χ : *Constriction factor*. Dapat membantu konvergensi

B. IPSO

Improved-Particle Swarm Optimization (IPSO) merupakan pengembangan dari algoritma PSO untuk mencegah konvergensi dini. Pada algoritma PSO konvensional, konvergensi partikel terjadi sangat cepat, namun pergerakan dari partikel yang ada hanya terjadi pada area lokal optimal dan global optimal. Berdasarkan rumus perbaruan posisi dan kecepatan pada Persamaan (2.8) dan (2.9), ketika partikel terbaik terjebak dalam lokal optimal, partikel lain akan bergerak menuju partikel tersebut dan pada akhirnya kondisi konvergen akan terjadi pada titik tersebut [10].

Adapun langkah-langkah pada IPSO sama dengan PSO, namun perbedaan antara IPSO dengan PSO terletak pada perbaruan posisi dan kecepatan partikel. Menambahkan λ sebagai faktor konvergen yang diletakkan di depan bobot inersia, dimana $\lambda = \sin^3 \alpha$ dan $\alpha = [0, \pi/8]$. Proses perbaruan kecepatan dan posisi partikel dijelaskan pada Persamaan 2.10 dan Persamaan 2.11.

$$v_i^{k+1} = \lambda \cdot w \cdot v_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - x_i^k) + c_2 \times r_2 \times (P_{best} - x_i^k) \dots \dots \dots (2.11)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \lambda \cdot w \cdot v_i^{k+1} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana:

$$v_i^{k+1} : \textit{Velocity } i^{th} \textit{ partikel } (k+1)^{th} \textit{ pada iterasi}$$

- w : *Inertia weight* pada partikel
- v_i^k : *Velocity* i^{th} partikel k^{th} pada iterasi
- c_1, c_2 : Nilai konstanta positive antara [0, 2.5]
- r_1, r_2 : Angka yang di buat secara acak antara [0, 1]
- p_{best_i} : Posisi terbaik i^{th} partikel di peroleh berdasarkan pengamannya sendiri
- g_{best} : Posisi terbaik global dari partikel dalam populasi
- x_i^{k+1} : Posisi i^{th} partikel $(k+1)^{th}$ pada iterasi
- x_i^k : Posisi i^{th} partikel k^{th} pada iterasi
- λ : $\sin 3\alpha$ dan $\alpha = [0, \pi/8]$

Selain perbaruan kecepatan dan posisi partikel, perbedaan PSO dan IPSO terletak pada bobot inersia yang selalu diperbarui pada setiap iterasinya. Perbaruan bobot ini disebut sebagai Time Variant Inertia Weight (TVIW). Perbaruan bobot inersia dijelaskan pada Persamaan 2.12 [10].

Pemilihan bobot *inersia* yang sesuai memberikan keseimbangan yang baik antara eksplorasi global dan lokal.

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{iter_{\max}} \times iter \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

- w_{\max} : Nilai bobot inersia pada awal iterasi
- w_{\min} : Nilai bobot inersia pada akhir iterasi
- $iter$: Merupakan bilangan iterasi saat ini
- $iter_{\max}$: Merupakan jumlah iterasi maksimum.

Bagian dari PSO yang masih bisa dikembangkan adalah koefisien akselerasi yang disebut sebagai Time Varying Acceleration Coefficient (TVAC). TVAC berusaha untuk meningkatkan pencarian global pada optimasi sehingga partikel akan bergerak menuju global optimal [10]. Perubahan koefisien akselerasi dijelaskan pada Persamaan 2.13 dan Persamaan 2.14.

$$C_1 = (C_{1f} - C_{1i}) \frac{t}{t_{max}} + C_{1i} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$C_2 = (C_{2f} - C_{2i}) \frac{t}{t_{max}} + C_{2i} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana:

- C_1, C_2 : Koefisien akselerasi
- C_{1i}, C_{2f} : Nilai terbaik adalah 2.5
- C_{1f}, C_{2i} : Nilai terbaik adalah 0.5
- t : Iterasi yang sedang berjalan
- t_{max} : Jumlah iterasi maksimal

C. IDE-PSO

Sebagai metode *swarm Intelligence*, PSO juga memiliki konvergensi prematur, terutama dalam masalah *multi-peaksearch* yang kompleks. Namun banyak peneliti yang berdedikasi dalam bidang ini untuk menangani masalah ini. Angeline [11] menggabungkan PSO dengan mekanisme seleksi eksplisit mirip dengan yang digunakan dalam perhitungan evolusi yang lebih tradisional untuk meningkatkan PSO.

Lovbjerg et al [12] mengusulkan PSO hibrida yang menggabungkan aturan pembaruan kecepatan dan posisi tradisional dengan gagasan pemuliaan dan

subpopulasi, yang memiliki potensi untuk mencapai konvergensi yang lebih cepat dan potensi untuk menemukan solusi yang lebih baik. Parsopoulos dan Vrahatis [13, 14] memperkenalkan fungsi ‘*stretching*’ ke PSO untuk mengurangi masalah minimum lokal.

Parsopoulos [15] menggunakan teknik inisialisasi pengoptimal partikel berkerut menggunakan metode simpleks nonlinear untuk mengeksplorasi ruang pencarian lebih efisien dan mendeteksi solusi yang lebih baik. Higashi dan Iba [16] menyajikan optimasi kawanan partikel dengan mutasi Gaussian, metode ini telah terbukti berhasil dalam memperoleh hasil yang lebih baik dari pada hanya dengan PSO. Terinspirasi oleh GA, Shi et al [17] menyajikan algoritma evolusi hibrida berdasarkan metode PSO dan GA melalui *cross over* PSO dan GA, yang memiliki kemampuan lebih baik untuk menemukan *optimum global* dari pada algoritma PSO standar. Wang dan Li [18] mengintegrasikan PSO dan *simulated annealing* untuk meningkatkan kinerja PSO.

IPSO populasi titik sampel secara acak dari ruang yang layak. Kemudian populasi dipartisi menjadi beberapa sub-kawanan. Setiap kompleks mengeksekusi PSO atau variannya secara independen, termasuk pembaruan posisi dan kecepatan partikel. Setelah beberapa generasi, sub-kawanan dipaksa untuk berbaur dan poin ditugaskan kembali untuk memastikan berbagi informasi. [9].

Algoritma tersebut tidak meningkatkan kinerja PSO dalam beberapa hal, masing-masing masih memiliki kekurangan. Beberapa varian PSO mengadopsi multimode *evolutionary strategy*, tetapi tidak memiliki kemampuan beradaptasi yang dinamis. Menggabungkan berbagai mekanisme dan meningkatkan struktur

topologi dapat menghindari proses pencarian yang berhenti secara prematur dan mempengaruhi jenis informasi yang disebarkan. Namun ini umumnya meningkatkan kompleksitas algoritma. Selain itu, hanya ada berbagi informasi dalam PSO tradisional, persaingan antar partikel tidak ada, meskipun merupakan fitur yang diinginkan untuk kemajuan pencarian berdasarkan pada pemikiran individu dan kemampuan pengambilan keputusan.

Algoritma *Based on Individual Difference Evolution* di terapkan ke PSO, menjadi *Improved Particle Swarm Optimization algorithm based on Individual Difference Evolution* (IDE-PSO). Algoritma ini menganggap setiap partikel sebagai manusia virtual, yang membagi emosinya menjadi tiga status. Setiap partikel menentukan perilakunya sesuai dengan fitness dan status emosionalnya dengan memanfaatkan psikologi seseorang. Kemudian, partikel yang sesuai diregenerasi untuk meningkatkan keragaman populasi. Selain itu, parameter kontrol terkait disesuaikan secara dinamis berdasarkan kondisi operasi saat ini dari partikel. Sebagai rangkuman, IDE-PSO membuat setiap partikel dalam kerumunan menjadi cerdas dan mengadopsi mekanisme evolusi berdasarkan perbedaan individu [18].

Faktanya, psikologi dan emosi digunakan untuk menggambarkan berbagai status individu, yang dapat memengaruhi kemampuan berpikir sendiri dan kemampuan mengambil keputusan sendiri. Kondisi ini hanya meningkatkan operator akselerasi dan kurang eksplorasi sistematis. Selain itu, tidak dapat mengimbangi hilangnya keanekaragaman populasi. Sedangkan IDE-PSO mengusulkan parameter baru eX sebagai ukuran langsung status emosional partikel untuk memandu gerakan partikel. Sedangkan skema tersebut menunjukkan bahwa

status sosial mempengaruhi emosi seseorang, dan emosi tersebut memandu tindakan individu, Ini dapat digambarkan sebagai:

Status sosial → Emosi Individu → Aksi Individu

Bentuk setara skema ini dalam PSO adalah:

Kebugaran ($f(X_i)$) → Emosi Partikel (eX_i) → Gerakan Partikel (V_i dan X_i)

Algoritma PSO ditingkatkan berdasarkan IDE. Selain itu, strategi yang dimodifikasi digunakan untuk meningkatkan eksplorasi dan keragaman kelompok. Akurasi dan stabilitasnya, dan menggeneralisasi algoritma untuk menyelesaikan masalah optimasi multi-optima dan multi-objektif. Dalam mekanisme evolusi yang diusulkan, status emosional setiap partikel disesuaikan secara adaptif sesuai dengan kecocokannya di setiap iterasi. Jika kebugarannya meningkat dibandingkan dengan iterasi sebelumnya, status emosi partikel meningkat. Sebaliknya setiap kemunduran dalam kebugaran mengarah pada pengurangan status emosional. Kami mendefinisikan tiga status emosi partikel: weak, normal, and good. Dengan demikian, berdasarkan pada kinerja partikel saat ini, seluruh populasi dibagi secara dinamis menjadi tiga subkelompok. [19].

2.4. Mekanisme IDE

A. Partikel lemah

Partikel dengan status emosi yang lemah biasanya memiliki fitness yang kurang (atau hanya sedikit meningkat) selama iterasi yang berurutan. Partikel seperti itu lebih cenderung bergerak ke arah yang buruk atau terjebak di sekitar optima lokal, yang berarti bahwa posisi dan kecepatannya bernilai rendah. Strategi

untuk memecahkan masalah partikel lemah (sweak), kecepatan partikel lemah diinisialisasi dengan :

$$V_i^t(j) = 0.2 \cdot (u - l) \cdot rand \dots \dots \dots (2.16)$$

Posisi partikel lemah diinisialisasi pada tingkat dimensi: nilai-nilai setiap dimensi memiliki dua opsi, reinisialisasi acak atau mempelajari nilai partikel terbaik global dalam gerombolan.

if rand < 0.5

$$X_i^t(j) = gb^{t-1}(j)$$

Else

$$X_i^t(j) = l + (u - l) \cdot rand[1,1]$$

Endif.....(2.17)

Dibandingkan dengan strategi memulai ulang yang sederhana, pendekatan ini menggabungkan inisialisasi acak dengan informasi tentang partikel terbaik global, dan diterapkan berdasarkan dimensi partikel. Dengan demikian, kami memperoleh kompromi antara konvergensi dan keragaman populasi [19].

B. Partikel Normal

Satu partikel dengan status emosi normal belajar dari pengalaman individu dan sosialnya. Di sini strategi gerakan normal digunakan:

$$v_i^{k+1} = w \times v_i^k + c_1 \times r_1 \times (P_{best} - x_i^K) + c_2 \times r_2 \times (P_{best} - x_i^K) \dots \dots \dots (2.18)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^{k+1} + X \times v_i^{k+1} \dots \dots \dots (2.19)$$

C. Partikel Baik

Ketika sebuah partikel memiliki status emosi yang baik akan menunjukkan kecocokannya telah meningkat secara signifikan selama beberapa generasi. Ini

berarti bahwa partikel bergerak ke arah yang baik, dan mempertahankan kecenderungannya saat ini (kecepatan dan posisi) digambarkan sebagai berikut:

$$v_i^{k+1} = w \times v_i^k + w \times 0.2 \times (u - l) \times \text{rand} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^{k+1} + v_i^{k+1} \dots\dots\dots(2.21)$$

terlepas dari informasi sosial penambahan $(u - l) \times \text{rand}$ untuk meningkatkan kemampuan eksploratif partikel yang baik [19].

2.5. Penelitian Terkait

Penelitian ini membahas ORPD menggunakan IDE-PSO. IDE-PSO merupakan algoritma baru yang di terapkan dalam menyelesaikan masalah ORPD, sehingga penelitian ini di harapkan menghasilkan hal baru yang lebih optimal dari penelitian sebelumnya yang menggunakan algoritma berbeda. Beberapa penelitian terkait dapat di lihat pada Table 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian terkait

No.	Nama Paper	Author	Masalah yang dibahas	Solusi yang di tawarkan	Metode yang digunakan	Hasil yang didapatkan
1.	<i>Optimal Reactive Power Dispatch Considering SSSC Using Grey Wolf Algorithm</i>	Ahmed Amin, Salah Kamel & Mohamed Ebeed	<i>Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)</i>	Masalah <i>Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)</i> adalah masalah optimasi non-liner dimana sudah di terapkan beberapa algoritma kerumunan seperti PSO dan GA namun masih memiliki banyak kekurangan maka dalam makalah ini di terapkan algoritma <i>Grey wolf optimizer (GWO)</i> yang lebih efisien serta menambahkan <i>Static Synchronous Series Compensator (SSSC)</i>	<i>Grey wolf optimizer (GWO)</i>	Hasil Penelitian di bandingkan antara algoritma <i>Grey wolf optimizer (GWO)</i> dengan menggunakan <i>Static Synchronous Series Compensator (SSSC)</i> dan algoritma <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i> dengan menggunakan <i>Static Synchronous Series Compensator (SSSC)</i> begitu pula dengan GWO tanpa SSSC dan PSO tanpa SSSC maka di dapatkan nilai yang lebih efisien yaitu algoritma GWO yang menggunakan SSSC
2.	<i>A Multiagent-Based Particle Swarm Optimization Approach for Optimal Reactive Power Dispatch (2005)</i>	B. Zhao, C. X. Guo, and Y. J. Cao	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	solusi untuk masalah <i>optimal reactive power dispatch (ORPD) particle swarm optimization approach based on multiagent systems (MAPSO)</i> . Metode ini mengintegrasikan <i>multiagent system (MAS)</i> dan algoritma <i>particle swarm optimization (PSO)</i> . Agen di MAPSO mewakili partikel untuk PSO	<i>A Multiagent-Based Particle Swarm Optimization</i>	Kinerja metode yang diusulkan ditunjukkan melalui evaluasinya pada sistem daya 30-bus IEEE dan praktis. sistem bus power menunjukkan bahwa MAPSO mampu melakukan pencarian global dengan tingkat konvergensi yang cepat dan fitur komputasi yang kuat. Dari studi simulasi, telah ditemukan bahwa MAPSO menyatu dengan global optimal. Strategi optimisasi bersifat umum

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

				<p>masalah optimisasi. Semua agen di lingkungan kisi, dengan masing-masing agen tetap pada titik kisi. Untuk mendapatkan solusi optimal dengan cepat, setiap agen bersaing dan bekerja sama dengan tetangganya, dan juga dapat belajar dengan menggunakan pengetahuannya</p>		<p>dan dapat digunakan untuk masalah optimisasi sistem tenaga lainnya.</p>
3.	<p><i>Hybrid shuffled frog leaping algorithm and Nelder–Mead simplex search for optimal reactive power dispatch</i> (2011)</p>	<p>A. Khorsandi, A. Alimardani, B. Vahidi & S.H. Hosseinian</p>	<p><i>Optimal Reactive Power Dispatch</i></p>	<p>Penelitian ini menggunakan algoritma evolusi baru yang memperluas <i>original shuffled frog leaping algorithm</i> (SFLA) untuk masalah ini. Untuk mengeksplorasi wilayah solusi yang menjanjikan, algoritma pencarian lokal yang dikenal sebagai algoritma <i>Nelder–Mead</i> (NM) terintegrasi dengan SFLA. NM-SFLA yang dihasilkan sangat efisien dalam memecahkan masalah ORPD</p>	<p><i>Hybrid shuffled frog leaping algorithm and Nelder–Mead simplex search</i></p>	<p>NM-SFLA diterapkan pada masalah ORPD pada IEEE 30-bus, IEEE 57-bus dan sistem daya IEEE 118-bus dengan mempertimbangkan variabel kontinu dan diskrit. Selain itu, beberapa beban dalam sistem daya IEEE 30-bus dan 57-bus dianggap sebagai beban non-linear untuk menunjukkan efektivitas metode yang diusulkan. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa NM-SFLA lebih efektif dalam eksplorasi pencarian global dan lebih cepat dari pada algoritma yang lainnya.</p>

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

4.	<i>Optimal Reactive Power Dispatch Considering Tcpar And Upfc</i>	S.M.Sadeghzadeh, A.H.Khazali, S.Zare	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	Masalah <i>optimal reactive power dispatch</i> (ORPD) memiliki dampak penting pada penurunan daya yang hilang dari saluran transmisi, dalam makalah ini FACTS dianggap sebagai parameter tambahan dalam menyelesaikan masalah ORPD, Dua jenis perangkat FACTS yang terlibat dalam penelitian ini terdiri dari TCPAR dan	Penerapan Tcpar dan Upfc untuk ORPD	Hasilnya menunjukkan bahwa UPFC memiliki efek signifikan pada kehilangan daya. UPFC mengurangi kehilangan daya% 49 dalam situasi terbaik. TCPAR mengurangi kehilangan daya 48% dalam situasi terbaik. Dalam studi ini hanya kerugian daya yang dipertimbangkan untuk menemukan lokasi optimal perangkat FACTS
5.	<i>An Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD) for Voltage Security Using Particle Swarm Optimization (PSO) in Graph Theory (2016)</i>	Diksha Kaur, Tek Tjing Lie, Nirmal K. C. Nair & Brice Valles	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	Karena karakteristik ORPD yang kompleks, optimisasi heuristik telah menjadi pemecah yang efektif. Dalam tulisan ini, pendekatan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO) digunakan untuk menyelesaikan masalah ORPD dan telah diuji pada Sistem Bus IEEE-14 menggunakan <i>Graph Theory</i> (GT) untuk mendapatkan hasil untuk optimasi daya reaktif	<i>Particle Swarm Optimization (PSO) in Graph Theory</i>	Telah di uji pada system IEEE 14 Bus dengan menggunakan PSO dan GT, hasilnya PSO mengurangi reaktif power losses yang lebih kecil dari GT yaitu 0.86 sedangkan GT mengurangi <i>reaktif power losses lebih besar</i> yaitu 2.25

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

6.	<p><i>Voltage Profile Improvement in Power System Using Series and Shunt Type FACTS Controller (2013)</i></p>	<p>Chirag Tanti & Dinesh Pipalava</p>	<p><i>Voltage Profile Improvement in Power System</i></p>	<p>tegangan sistem dapat dikontrol dalam banyak hal dan teknologi terbaru dengan menggunakan perangkat elektronika daya yang kita sebut sebagai perangkat-FACTS. <i>Flexible AC Transmission System (FACTS)</i> adalah opsi untuk mengurangi ketidakstabilan tegangan dengan aliran daya reaktif dan kriteria kontrol tegangan. Ini memiliki banyak konfigurasi seperti seri, shunt dll. TCSC adalah tipe seri dan STATCOM adalah pengontrol tipe shunt. Dalam makalah ini kedua perangkat dibandingkan untuk peningkatan stabilitas tegangan.</p>	<p>Penerapan <i>Shunt Type FACTS Controller</i></p>	<p>TCSC dan STATCOM meningkatkan stabilitas tegangan Ia juga bekerja dengan andal dalam kondisi beban variabel. STATCOM memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan TCSC memberikan profil Tegangan yang lebih baik.</p>
7.	<p><i>An improved particle swarm optimization algorithm (2007)</i></p>	<p>Yan Jiang, Tiesong Hu, ChongChao Huang & Xianing Wu</p>	<p>New Algorithm</p>	<p><i>Improved particle swarm optimization (IPSO)</i> diusulkan dalam makalah ini. Dalam algoritma baru, populasi titik sampel secara acak dari ruang yang layak. Kemudian populasi dipartisi menjadi beberapa sub-kawanan,</p>	<p><i>improved particle swarm optimization</i></p>	<p>Metode baru ini dapat meningkatkan kemampuan bertahan hidup dengan berbagi informasi. Tiga fungsi tolak ukur dan studi kasus dilakukan Perbandingan kinerja menunjukkan bahwa IPSO lebih unggul dari PSO.</p>

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

8.	<i>Economic Dispatch of Micro-Grid Based on Improved Particle-Swarm Optimization Algorithm</i> (2014)	Huiqiu Cao, Jian Xu, Deping Ke, Chengxu Jin, Shengchu Deng, Chenghui Tang, Mingjian Cui & Ji Liu	<i>Economic Dispatch of Micro-Grid</i>	Untuk sistem jaringan mikro dalam mode operasi terisolasi dan paralel, dua jenis model operasi pengiriman ekonomis dibuat. Fungsi objektif dari model dirumuskan dengan mempertimbangkan <i>time-of-use</i> (TOU) dan transaksi energi listrik. Teori <i>particle swarm optimization</i> (PSO) diusulkan, dan parameter kunci ditingkatkan untuk meningkatkan kinerja algoritma.	<i>Improved Particle-Swarm Optimization Algorithm</i>	Dalam mode paralel, biaya operasi mikro-jaringan berkurang 2,9% dengan menerapkan algoritma IPSO, dibandingkan dengan yang dari PSO, sedangkan biaya operasi hanya 2,7% dari algoritma asli
9	<i>A novel improved particle swarm optimization algorithm based on individual difference evolution</i>	Jin Gou Yu-Xiang Lei Wang-Ping Guo Cheng Wang Yi-Qiao Cai Wei Luo	New Algorithm	Beberapa PSO-varian mengadopsi strategi evolusi multimode. persaingan antar partikel diabaikan, tanpa mempertimbangkan kemampuan berfikir individu, sedangkan <i>Improved PSO algorithm based on individual difference evolution</i> (IDE-PSO) Algoritma ini mengalokasikan koefisien kompetisi yang disebut status emosional ke setiap partikel.	<i>improved particle swarm optimization algorithm based on individual difference evolution</i>	pengaturan parameter IDE-PSO melalui serangkaian eksperimen kontrol. Kombinasi optimal dari parameter kontrol dipilih, dan percobaan komparatif pada fungsi <i>benchmark</i> CEC 2013 menunjukkan bahwa IDE-PSO adalah algoritma optimisasi yang sangat kompetitif.

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

10	<i>Artificial Bee Colony Algorithm for Discrete Optimal Reactive Power Dispatch</i>	Souhil Mouassa, Tarek Bouktir	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	salah satu algoritma optimisasi yang andal dan efektif yang disebut algoritma " <i>artificial bee colony</i> " (ABC) untuk menyelesaikan masalah pengiriman daya reaktif optimal (ORPD) dengan variabel kontrol diskrit dan kontinu dalam sistem tenaga listrik	<i>Artificial Bee Colony Algorithm</i>	algoritma ABC telah berhasil diterapkan untuk memecahkan masalah ORPD diskrit. Tiga sistem uji daya IEEE (14, 30, 57) digunakan untuk menunjukkan konsistensi memperoleh solusi optimal atau mendekati optimal dari variabel kontrol masalah ORPD.
11	<i>Optimal Reactive Power Dispatch Using Hybrid Loop-Genetic Based Algorithm</i>	Md Sajjad Alam, Mala De	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	algoritma baru yang dimotivasi oleh pendekatan hybrid yang disebut sebagai <i>hybrid Loop-Genetic based algorithm</i> (HLGBA). <i>Algoritma hybrid Loop-GA</i> (HLGBA) menggunakan manfaat dari pencarian global, yaitu algoritma genetika dengan lebih sedikit proses evolusi (hanya untuk ruang pencarian global) dan kemudian dari pencarian lokal untuk menyempurnakan solusi dengan perhitungan dan waktu yang terbatas.	<i>Hybrid Loop-Genetic Based Algorithm</i>	Algoritma <i>Hybrid Loop-Genetic Based Algorithm</i> memecahkan masalah ORPD lebih efisien. Algoritma baru ini diverifikasi pada sistem bus IEEE_14 standar untuk menganalisis perhitungan, waktu dan efisiensi algoritma.

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

12	<i>Cuckoo Search Algorithm as an Optimizer for Optimal Reactive Power Dispatch Problems</i>	Mohd Herwan Sulaiman, Zuriani Mustaffa	<i>Optimal Reactive Power Dispatch</i>	aplikasi <i>Cuckoo Search Algorithm</i> (CSA) dalam mengoptimalkan variabel kontrol operasi sistem tenaga dalam menyelesaikan masalah pengiriman daya reaktif optimal (ORPD).	<i>Cuckoo Search Algorithm</i> (CSA)	CSA dalam memecahkan masalah ORPD. Efektivitas CSA menggunakan sistem IEEE 30-bus sebagai studi kasus. Hasil simulasi menunjukkan bahwa CSA lebih baik dibandingkan dengan algoritma yang diidentifikasi lainnya dalam hal konsistensi memperoleh kerugian minimum sistem. Implementasi CSA ke dalam fungsi-fungsi objektif lainnya seperti deviasi tegangan serta termasuk kendala praktis terkait dengan unit pembangkit
13	<i>Application of PSO-Methods for the Solution of the economic Optimal Reactive Power Dispatch Problem</i>	Marcel Sarstedt, Steffen Garske, Lutz Hofmann	<i>Economic Optimal Reactive Power Dispatch</i>	<i>Economic Optimal Reactive Power Dispatch</i> (EORPD) yang dievaluasi secara ekonomi adalah adaptasi dari masalah klasik <i>Optimal Reactive Power Dispatch</i> (ORPD) dengan multikriteria bersama dan fungsi objektif yang dievaluasi. EORPD bertujuan untuk pemanfaatan maksimal potensi optimasi teknis dan ekonomis dalam <i>electric energy system</i> (EES)	<i>Particle swarm Optimisation</i> (PSO), <i>Global Passive Congregated</i> PSO (GPAC), <i>hybrid multiagent PSO</i> (HMAPSO)	perilaku konvergensi dari tiga varian PSO berbeda secara signifikan dalam loop yang dipertimbangkan dalam jumlah langkah iterasi sebelum mencapai kriteria penghentian dan penyimpangan hasil akhir. Berdasarkan kursus rata-rata, kualitas keseluruhan hasil dapat dievaluasi dengan penyimpangan hasil. Ini juga ditunjukkan sebagai contoh untuk HMAPSO pada Gambar 6. Ini menghasilkan bahwa

Lanjutan **Tabel 2.1.** Penelitian terkait

				<p>PSO asli menyatu lebih cepat dari kedua varian lainnya yang menghasilkan penurunan waktu perhitungan tetapi ada juga kemungkinan stagnasi dalam solusi yang buruk. Dengan memasukkan faktor komunikasi tambahan, GPAC konvergen lebih lambat daripada PSO asli, tetapi kualitas hasilnya lebih baik, yang dapat diidentifikasi dengan membandingkan kursus rata-rata. Hubungan yang sama berlaku antara HMAPSO dan GPAC</p>		<p>dengan mempengaruhi penyediaan daya reaktif. Dalam gabungan skala besar, <i>integrated transmission and distribution grid</i> (ITDG)</p>
--	--	--	--	--	--	---

2.6. Rancangan Sistem

Dalam penyelesaian *Optimal Reactive Power Dispatch* (ORPD) dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Individual Difference Evolution* (IDE-PSO) di simulasikan dengan menggunakan MATLAB. Simulasi di lakukan pada sistem IEEE 30 Bus, IEEE 14 Bus dan Jawa-Bali 500 kV, hasil simulasi tersebut di bandingkan dengan hasil simulasi yang menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) yang di gunakan pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian terdahulu penelitian ini berbeda dari segi metode yang di gunakan yaitu IDE-PSO, algoritma ini efektif dalam menyelesaikan masalah penentuan variabel sehingga sangat cocok diimplementasikan pada masalah ORPD.