DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW MEMPERHITUNGKAN *INTERMITTENT WIND TURBINE* MENGGUNAKAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* (ACO)

Disusun dan diajukan oleh

RATIH PUSPITA SIWI

D032191015

TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK/SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR

2022

DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW MEMPERHITUNGKAN *INTERMITTENT WIND TURBINE* MENGGUNAKAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* (ACO)

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

RATIH PUSPITA SIWI

D032191015

Kepada

TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK/SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

***DYNAMIC OPTIMAL POWER FLOW* MEMPERHITUNGKAN *INTERMITTENT WIND TURBINE* MENGGUNAKAN METODE *ANT COLONY OPTIMIZATION* (ACO)**

Disusun dan diajukan oleh

RATIH PUSPITA SIWI

D032191015

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 02 Februari dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,	Pembimbing Pendamping,
Dr. Indar Chaerah Gunadin, S.T., M.T.	**Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT**
Nip. 19731118 199803 2 001	Nip. 19601106 198601 2 001

Ketua Program Studi,	Dekan Fakultas Teknik,
Prof. Dr.Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M.Eng. IPU	**Prof. Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, M.T.**
Nip. 19740530 199903 1 003	Nip. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ratih Puspita Siwi

NIM : D032191015

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini merupakan hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 23 Februari 2022

Yang Menyatakan,

Ratih Puspita Siwi

ABSTRAK

RATIH PUSPITA SIWI. D032191015. "Dynamic Optimal Power Flow Dengan Memperhitungkan Intermittent Wind Turbine Menggunakan Metode ACO (Ant Colony Optimozation)". (Pembimbing: Indar Chaerah Gunadin dan Sri Mawar Said).

Intermiten adalah energi listrik yang tidak tersedia secara terus menerus karena faktor eksternal yang tidak terkendali yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang kondisinya bervariasi dalam skala waktu yang cukup singkat. Intermiten dapat dibatasi atau bahkan dikurangi dengan penyimpanan listrik, yang merupakan bidang penelitian yang berkembang pesat. Dalam penelitian ini energi terbarukan yang digunakan adalah turbin angin. Penelitian ini bertujuan: Menjadwalkan pembangkit yang ekonomis dengan mempertimbangkan turbin angin intermiten. Perhitungan aliran daya optimal dinamis Turbin angin intermiten menggunakan metode koloni semut menentukan nilai operasi sistem optimasi dengan turbin angin terintegrasi. Untuk menentukan nilai optimasi operasi sistem pada penelitian ini menggunakan sistem sulawesi selatan yang terdiri dari 76 bus, 21 generator, dan dua pembangkit listrik tenaga angin. Dari hasil simulasi aliran daya optimal dinamis, biaya pembangkitan dikurangi dari biaya sistem riil menggunakan metode ant colony sebesar 18,82%, sehingga dalam waktu dua puluh empat jam metode optimasi koloni semut dapat menekan biaya pembangkitan sebesar Rp. 70.683.792.

Kata Kunci – Intermittent, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Dynamic Optimal Power Flow, Ant Colony Optimization.

ABSTRACT

RATIH PUSPITA SIWI. D032191015. "Dynamic Optimal Power Flow Calculates Intermittent Wind Turbine Using ACO (Ant Colony Optimozation)". (Supervised: Indar Chaerah Gunadin dan Sri Mawar Said).

Intermittent is electrical energy that is not available continuously due to uncontrollable external factors generated by a power plant whose conditions vary in a reasonably short time scale. Intermittent can be limited or even mitigated by electricity storage, which is a rapidly growing area of research. In this research, the renewable energy used is the wind turbine. This study aims: To schedule an economic generator by considering the intermittent wind turbine. Dynamic optimal power flow calculate Intermittent wind turbine uses ant colony method determine the value of optimizing system operation with the integrated wind turbine. To determine the optimization value of the system operation in this study using a south sulawesi system consisting of 76 buses, 21 generators, and two wind power plant. From the results of the dynamic optimal power flow simulation, the generation costs are reduced from the real system costs using the ant colony method is 18.82%, so that in twenty four hours times the ant colony optimization method, can reduce the cost of generation by Rp. 70.683,792.

Keyword; Intermittent, Wind Turbine, Dynamic Optimal Power Flow, Ant Colony Optimization.

KATA PENGANTAR

Segala puji selalu dipanjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Kuasa yang telah memberikan rahmat. hidayah dan pertolongan-Nya dalam menyelesaikan proposal tesis ini. yang berjudul **"Dynamic Optimal Power Flow Dengan Memperhitungkan Intermittent Wind Turbine Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO)"**. Penyelesaian tesis ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Magister Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Peneliti memohon maaf jika dalam tesis ini masih terdapat banyak kekurangan. Dengan demikian, peneliti tetap mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca sekalian serta tetap mengharapkan semoga tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak. Penyusunan tesis ini juga tidak terlepas dari bimbingan dan dorongan semangat dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, peneliti sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua. saudara-saudara serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Syafaruddin. ST., M.Eng** selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Bapak **Dr. Indar Chaerah Gunadin, ST., M.T** selaku pembimbing I dan Ibu **Dr. Sri Mawar Said, M.T** selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian tesis ini.
4. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan dan kemudahan yang diberikan selama kami menempuh proses perkuliahan.
5. Kepada Rekan-Rekan seperjuangan Program Pasca Sarjana Departemen Teknik Elektro angkatan 2018 dan 2019 yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini berjuang bersama peneliti untuk menuntut ilmu di kampus merah tercinta.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung peneliti dalam menyelesaikan tesis ini.

Peneliti menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tesis ini. Oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Peneliti berharap semoga tesis ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Makassar, Oktober 2021

Ratih Puspita Siwi

DAFTAR ISI

ABSTRAK i

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

DAFTAR GAMBAR viii

DAFTAR TABEL ix

BAB I PENDAHULUAN 1

A. LATAR BELAKANG 1

B. RUMUSAN MASALAH 4

C. TUJUAN PENELITIAN 4

D. MANFAAT PENELITIAN 4

E. BATASAN PENELITIAN 5

F. SISTEMATIKA PENULISAN 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

A. Sistem Tenaga Listrik 7

B. *Intermittent* 9

C. *Optimal Power Flow* 13

D. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu 18

E. Metode *Ant Colony Optimization* 23

F. *State Of The Art* 25

G. Kerangka Pikir 30

BAB III METODE PENELITIAN 30

A. Tahapan Penelitian 30

B. Metode Analisis 31

C. Waktu Dan Lokasi Penelitian 34

D. Jenis Penelitian 35

E. Teknik Pengumpulan Data 35

F. Parameter Ukur 35

BAB IV 36

HASIL DAN PEMBAHASN 36

A. Simulasi Pembangkitan 24 Jam Berdasarkan Data Real 44

B. Optimasi Pembangkitan 24 Jam Menggunakan Metode ACO 45

BAB V 58

PENUTUP 58

A. Kesimpulan 58

B. Saran 58

DAFTAR PUSTAKA 59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Wind Turbine 11
Gambar 2. 2 Kurva Daya Sembarang Turbin Angin 1 MW Dibandingkan Dengan Kecepatan Angin 11
Gambar 2. 3 Karakteristik Input-Output Pembangkit Tenaga Angin 22
Gambar 2. 4 Kerangka Pikir 30
Gambar 3. 1. Diagram Alur Tahapan Penelitian 31
Gambar 3. 2. Flowchart Algoritma Ant Colony 34
Gambar 4. 1. Single Line Diagram Sistem Interkoneksi 150 kV Sulseltrabar……39
Gambar 4. 2. Grafik Sebelum Optimasi 45
Gambar 4. 3 Grafik biaya pembangkitan system interkoneksi 150 kV SULBAGSEL Menggunakan Metode ACO 47
Gambar 4. 4. Grafik Tour Ant Colony 47
Gambar 4. 5. Grafik Setelah Optimasi 48

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. State of The Art 26
Tabel 4. 1. Fungsi Biaya Pembangkit Termal System Interkoneksi 150 kV Sulseltrabar 42
Tabel 4. 2. Batasan Daya Pembangkit Termal System Interkoneksi 150 KV Penelitian Sulseltrabar 43
Tabel 4. 3. Hasil Simulasi System Interkoneksi 150 Kv Sulseltrabar Pembangkit Berdasarkan Data Real (Sebelum Optimasi) 44
Tabel 4. 4. Hasil Simulasi Optimasi Ekonomis Pembangkit System Interkoneksi 150 kV Sulseltrabar Selama 24 jam Menggunakan Metode Ant Colony Optimization 46
Tabel 4. 5. Perbandingan sebelum optimasi dan setelah optimasi pembangkit menggunakan metode ant colony 48

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Masalah energi saat ini terkhusus menjadi masalah yang diprioritaskan untuk dipikirkan keberlangsungan dimasa yang akan datang. Energi listrik dunia saat ini masih didominasi dari bahan bakar fosil. Terkhusus di Indonesia pembangkit listrik menggunakan energi air sebagai penggerak turbin telah lama digunakan, namun ini tidak cukup untuk melayani jutaan konsumen listrik, untuk menutupi kekurangan pasokan energi listrik pemerintah maupun swasta membangun pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil. Hal ini telah mengakibatkan banyak dampak buruk bagi lingkungan dan ekonomi. Oleh sebab itu pemerintah, pengusaha dan generasi yang cerdas dituntut untuk memikirkan solusisolusi cerdas apa yang harus dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Energi listrik menggunakan sumber energi yang dapat diperbaharui menjadi salah satu solusi cerdas untuk hal ini [1].

Jumlah permintaan energi listrik semakin meningkat seiring dengan perkembangan jaman menyebabkan penyedia dituntut untuk menyediakan pasokan dalam jumlah yang cukup. Energi fosil banyak digunakan sebagai sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Namun karena jumlah yang semakin menipis, saat ini penggunaan energi fosil mulai dikurangi. Semakin berkembang ilmu pengetahuan dan teknologi,

energi terbarukan mulai menjadi pilihan bagi masyarakat untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil [2].

Energi terbarukan banyak digunakan dan dikembangkan akhir akhir ini karena jumlah yang sangat melimpah, sifat yang bersih, serta ramah lingkungan. Sumber energi terbarukan seperti angin, cahaya matahari, dan air dimanfaatkan dalam bentuk pembangkit tersebar (microgrid) untuk memenuhi kebutuhan beban, meningkatkan keandalan, dan lain-lain. Karena letak pada sistem distribusi, penggunaan microgrid dinilai efektif untuk memanfaatkan energi terbarukan dalam rangka mengurangi rugi-rugi ekonomi [2]. Pada kenyataan ini, terdapat masalah dalam pengaplikasian sumber energi terbarukan pada sistem karena sifatnya yang intermittentt. Sifat ini menyebabkan pembangkit dari sumber energi terbarukan menghasilkan daya yang berubah-ubah besarnya tergantung dari ketersediaan sumber energi [3].

Di sisi lain, jumlah beban pada sistem bersifat dinamis atau berubah-ubah setiap waktu. Pada kasus-kasus yang sering terjadi, daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan sering tidak sesuai dengan permintaan beban yang berubah-ubah. Pembangkit-pembangkit tersebut cenderung menghasilkan daya yang kecil saat permintaan beban tinggi (on peak) dan menghasilkan daya yang besar saat permintaan beban rendah (off peak). Sehingga daya yang dihasilkan banyak yang terbuang pada periode on peak, sedangkan pada periode off

peak, sistem cenderung kekurangan daya dalam memenuhi permintaan beban [4].

Konsumsi energi listrik yang semakin meningkat, membutuhkan permintaan energi yang juga semakin besar. Untuk mengatasi permasalahan yang semakin menipis energi berbahan bakar seperti fosil, pengembangan energi terbarukan adalah solusi dari permasalahan tersebut. Sudah bukan hal umum ketika energi terbarukan sedang diperbincangkan terkait pengoptimalan sebagai solusi pengganti energi yang tak dapat diperbaharui. Salah satu yaitu menggunakan wind turbine untuk memenuhi konsumsi kebutuhan listrik sehari-hari. Berbagai upaya dilakukan dibidang teknologi agar mampu memaksimalkan energi terbarukan ini. Adanya wind turbine ini, diharapkan mampu menjadi pembangkit yang dapat menopang kinerja pembangkit thermal dalam memenuhi permintaan daya listrik bagi konsumen [5]. Selain itu dengan adanya pembangkit renewable ini, diharapkan mampu meminimalisir total biaya pembangkitan agar lebih ekonomis dan terjangkau untuk mengatasi sifat intermittentt energi terbarukan tersebut [3].

Dalam penelitian ini menawarkan metode untuk mengetahui biaya operasi ekonomis dengan melakukan optimasi system interkoneksi 150 kV SULBAGSEL dengan menggunakan metode algoritma ant colony optimizaton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui biaya operasi pembangkit minimum serta memperhitungkan rugi-rugi transmisi pada sistem akibat intermittent wind turbine.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang tersebut, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memperhitungkan biaya ekonomis dengan mempertimbangkan *intermittent wind turbine?*
2. Bagaimana menentukan biaya ekonomis dengan memperhitungkan *losses* tranmisi?
3. Bagaimana penerapan *Ant Colony Method* untuk pengoptimalan operasi sistem dengan integrasi *wind turbine?*

C. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini:

1. Untuk menentukan perhitungan biaya yang ekonomis dengan mempertimbangkan *intermittentt wind turbin*e.
2. Untuk menentukan biaya yang ekonomis dengan memperhitungkan losses transmisi.
3. Untuk menerapkan Ant Colony Optimization dalam pengoptimalan operasi system dengan instegrasi wind turbine.

D. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan sumbangsih kepada akademis maupun praktisi mengenai optimal power f*low* dengan memperhitungkan intermittentt wind turbine yang di aplikasikan pada sistem kelistrikan Sulserabar.

2. Menjadi literatur dalam hal meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.
3. Menjadi referensi ilmiah bagi para mahasiswa yang ingin meneliti topik serupa.

E. BATASAN PENELITIAN

Adapun batasan masalah penelitian ini:

1. Sistem kelistrikan yang dikaji adalah sistem 150 kV Sulselbar.
2. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode Ant colony.
3. Pembagian daya yang dilakukan adalah daya aktif.
4. Pembangkit yang ditinjau adalah pembangkit yang dikelola oleh PT. PLN (Persero).

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang di gunakan dalam penulisan proposal penelitian ini adalah

Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan dipaparkan pada bab ini.

Bab II Landasan Teori dan Kerangka Pemikiran

Bab II berisi penjelasan tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui

peenelitian relevan dengan usulan penulis terkait dengan judul *dynamic optimal power flow* dengan memperhitungkan *intermittentt wind turbine*. Dalam bab ini juga diuraikan tentang kerangka pikir yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti termasuk menguraikan objek penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan tentang lokasi dan waktu penelitian, bagaimana metode pengerjaan tesis ini dilakukan serta langkah-langkah pengerjaan yang dilakukan.

Bab IV Hasil dan Pembhasan

Bab ini berisi pembahasan dan hasil penelitian penjadwalan ekonomis pembangkit sistem kelistrikan Sulbagsel 150 kV dengan integrasi PLTB dengan menggunakan metode *Ant Colony Otimization* (ACO).

BAB V Penutup

Pada Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan isi penelitian dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu system [6].

Energi listrik yang dihasilkan di pusat pembangkit listrik akan disalurkan melalui saluran transmisi kemudian melalui saluran distribusi akan sampai ke konsumen. Berikut ini penjelasan mengenai bagian utama pada sistem tenaga listrik pada umumnya, yaitu:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal *(Prime Mover)* dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Peralatan utama pada gardu induk antara lain : transformer, yang berfungsi rangkaian sistem tenaga listrik menaikkan tegangan generator (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150 kV) dan juga peralatan pengaman dan pengatur. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit hidro yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan pembangkit thermal

diantaranya yaitu PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pusat Listrik Tenaga Gas Uap).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya dapat tersalurkan pada pengguna listrik.

3. Sistem Distribusi

Sistem distribusi ini adalah sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pengguna listrik dan pada umumnya berfungsi dalam hal penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat. Sub sistem ini terdiri dari : pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo.

4. Beban

Beban pada sistem tenaga listrik terbagi menjadi beban industri, komersial, dan residensial. Beban industri yang besar dapat disuplai dari sistem transmisi. Sedangkan untuk beban-beban yang kecil dapat dilayani melalui jaringan distribusi. Beban industry berupa beban komposit paling

banyak berupa motor. Sedangkan beban komerisl dan residensial paling banyak berupa penerangan, pemanas dan pendingin.

B. *Intermittent*

Listrik *intermiten* adalah energi listrik yang tidak tersedia secara terus menerus karena faktor eksternal yang tidak dapat dikendalikan, dihasilkan oleh sumber pembangkit listrik yang kondisinya bervariasi dalam skala waktu yang cukup singkat. Sumber listrik *intermitent* meliputi tenaga surya, tenaga angin, tenaga pasang surut, dan tenaga gelombang. Meskipun tenaga surya dan pasang surut cukup dapat diprediksi (lamanya hari, pola cuaca, siklus pasang surut), mereka masih terputus-putus karena jangka waktu listrik dapat dibuat terbatas. Karena pembangkitan listrik yang bervariasi ini, sumber-sumber ini dianggap tidak dapat dikirim, yang berarti bahwa keluaran listriknya tidak dapat digunakan pada waktu tertentu untuk memenuhi permintaan listrik yang berfluktuasi di masyarakat [7].

Intermittent dapat dibatasi atau bahkan diatasi dengan penggunaan penyimpanan listrik, yang merupakan bidang penelitian yang berkembang sangat pesat [8]. Sumber-sumber yang terputus-putus ini dapat menyimpan listrik mereka untuk digunakan nanti, dan setelah pemasangan ini disempurnakan, kemungkinannya benar-benar tidak terbatas. Motor Tesla sudah memproduksi secara massal perangkat penyimpanan energi tersebut, yang dapat memanfaatkan energi matahari yang terputus-putus dengan menghubungkan ke panel surya, memungkinkan pemilik rumah untuk menggunakan tenaga surya mereka pada jam-jam yang tidak dapat

digunakan. Pemilik perangkat penyimpanan ini dapat menghindari pembayaran harga waktu puncak untuk listrik, dan memiliki sumber listrik yang andal setiap saat bahkan jika terjadi pemadaman listrik. Sumber intermiten yang paling umum dan berkontribusi tertinggi adalah angin [2].

Tenaga angin dianggap sangat terputus-putus dan tidak dapat dikirim karena merupakan sumber daya variabel, yang berarti bahwa keluaran listriknya bergantung pada banyak faktor, seperti kecepatan angin, kepadatan udara, karakteristik turbin, dan banyak lagi. Semua faktor ini juga berubah bergantung pada lokasi situs. Kecepatan angin juga harus dalam kisaran tertentu (tergantung turbin), di atas 3,5 m/s untuk menghasilkan listrik, dan di bawah 25 m/s untuk menghindari kerusakan turbin. Ketika mempertimbangkan beberapa intermittency wind farm, masuk akal bahwa keandalannya akan sedikit meningkat, tetapi ini sebenarnya tidak terjadi [9].

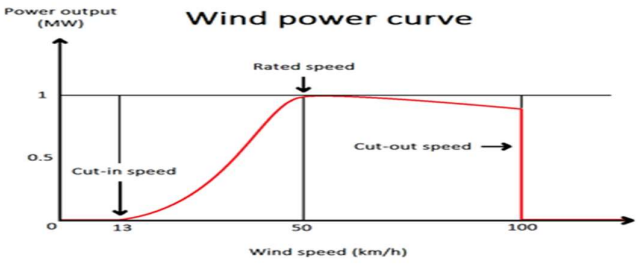
Tenaga angin sejauh ini merupakan sumber energi utama yang paling membutuhkan pilihan penyimpanan energi berkualitas tinggi. Salah satu pilihan penyimpanan energi udara terkompresi tampaknya sangat menjanjikan [10].

Tenaga angin adalah pembangkit listrik dari angin. Tenaga angin memanfaatkan aliran energi primer atmosfer yang dihasilkan dari pemanasan permukaan bumi yang tidak merata oleh Matahari. Oleh karena itu, tenaga angin merupakan cara tidak langsung untuk memanfaatkan energi matahari. Tenaga angin diubah menjadi energi listrik oleh turbin angin [7].

Gambar 2. 1 Wind Turbine [7]

Beberapa faktor berbeda mempengaruhi potensi sumber daya angin di suatu daerah. Tiga faktor utama yang mempengaruhi output daya adalah: kecepatan angin, kepadatan udara, dan jari-jari blade. Turbin angin harus berada di area dengan banyak angin secara teratur, yang lebih penting daripada terkadang memiliki angin kencang [11].

Kecepatan angin sangat menentukan jumlah listrik yang dihasilkan oleh turbin. Kecepatan angin yang lebih tinggi menghasilkan lebih banyak tenaga karena angin yang lebih kuat memungkinkan pisau berputar lebih cepat. Rotasi yang lebih cepat berarti lebih banyak tenaga mekanik dan lebih banyak tenaga listrik dari generator. Hubungan antara kecepatan angin dan daya untuk turbin angin tipikal ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Kurva Daya Sembarang Turbin Angin 1 MW Dibandingkan Dengan Kecepatan Angin [11]

Turbin dirancang untuk beroperasi dalam kisaran kecepatan angin tertentu. Batas dari jangkauan dikenal sebagai kecepatan sela dan kecepatan sela. Kecepatan sela adalah titik di mana turbin angin dapat menghasilkan tenaga. Antara kecepatan sela dan kecepatan pengenal, di mana keluaran maksimum tercapai, keluaran daya akan meningkat secara kubik dengan kecepatan angin . Misalnya, jika kecepatan angin meningkat dua kali lipat, output daya akan meningkat 8 kali lipat. Hubungan kubik inilah yang membuat kecepatan angin menjadi faktor penting bagi tenaga angin. Ketergantungan kubik ini tidak memotong pada kecepatan angin terukur. Hal ini mengarah ke bagian kurva yang relatif datar pada Gambar 2.2, sehingga ketergantungan kubik terjadi selama kecepatan di bawah 15 m / s (54 kpj) [12].

Kecepatan pemutusan adalah titik di mana turbin harus dimatikan untuk menghindari kerusakan pada peralatan. Kecepatan cut-in dan cut-out terkait dengan desain dan ukuran turbin dan ditentukan sebelum konstruksi.

Output daya terkait dengan kepadatan udara lokal, yang merupakan fungsi dari ketinggian, tekanan, dan suhu. Udara padat memberikan lebih banyak tekanan pada rotor, yang menghasilkan keluaran daya yang lebih tinggi [12].

Turbin angin dirancang untuk memaksimalkan radius bilah rotor untuk memaksimalkan keluaran daya. Pisau yang lebih besar memungkinkan turbin menangkap lebih banyak energi kinetik angin dengan menggerakkan lebih banyak udara melalui rotor. Namun, bilah yang lebih besar

membutuhkan lebih banyak ruang dan kecepatan angin yang lebih tinggi untuk beroperasi. Sebagai aturan umum, turbin diberi jarak empat kali diameter rotor. Jarak ini diperlukan untuk menghindari interferensi antar turbin, yang menurunkan keluaran daya [13].

C. *Optimal Power Flow*

Dalam teknik tenaga, studi aliran daya atau studi aliran beban, adalah analisis numerik aliran tenaga listrik dalam sistem yang saling berhubungan. Studi aliran daya biasanya menggunakan notasi yang disederhanakan seperti diagram satu baris dan sistem per unit, dan berfokus pada berbagai aspek parameter daya AC, seperti tegangan, sudut tegangan, daya nyata, dan daya reaktif. Ini menganalisis sistem tenaga dalam operasi kondisi-mapan normal.

Studi aliran daya atau aliran beban penting untuk merencanakan perluasan sistem tenaga di masa depan serta dalam menentukan operasi terbaik dari sistem yang ada. Informasi utama yang diperoleh dari studi aliran daya adalah besarnya dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, serta daya nyata dan reaktif yang mengalir di setiap saluran.

Sistem tenaga komersial biasanya terlalu kompleks untuk memungkinkan solusi tangan dari aliran daya. Alat analisa jaringan tujuan khusus dibangun antara 1929 dan awal 1960-an untuk menyediakan model fisik sistem tenaga skala laboratorium. Komputer digital skala besar menggantikan metode analog dengan solusi numerik.

Selain studi aliran daya, program komputer melakukan perhitungan terkait seperti analisis gangguan hubung singkat, studi stabilitas (kondisi transien dan mapan), komitmen unit, dan pengiriman ekonomi. Secara khusus, beberapa program menggunakan program linier untuk menemukan aliran daya yang optimal, kondisi yang memberikan biaya terendah per kilowatt hour yang dikirimkan.

Studi aliran beban sangat berharga untuk sistem dengan beberapa pusat beban, seperti kompleks kilang. Studi aliran daya adalah analisis kemampuan sistem untuk memasok beban terhubung secara memadai. Total kerugian sistem, serta kerugian garis individu, juga ditabulasikan. Posisi tap transformator dipilih untuk memastikan tegangan yang benar di lokasi kritis seperti pusat kendali motor. Melakukan studi aliran beban pada sistem yang ada memberikan wawasan dan rekomendasi mengenai operasi sistem dan optimalisasi pengaturan kontrol untuk mendapatkan kapasitas maksimum sambil meminimalkan biaya pengoperasian. Hasil dari analisis tersebut adalah daya aktif, daya reaktif, magnitudo dan sudut fasa. Selanjutnya, penghitungan aliran daya sangat penting untuk operasi yang optimal dari kelompok unit pembangkit.

Dalam hal pendekatannya terhadap ketidakpastian, studi aliran beban dapat dibagi menjadi aliran beban deterministik dan aliran beban terkait ketidakpastian. Studi aliran beban deterministik tidak memperhitungkan ketidakpastian yang timbul dari kedua pembangkit listrik dan perilaku beban. Untuk mempertimbangkan ketidakpastian, ada

beberapa pendekatan yang telah digunakan seperti probabilistik, kemungkinan, teori keputusan kesenjangan informasi, optimasi robust, dan analisis interval.

Inisiatif pemodelan energi terbuka mempromosikan model aliran beban *open source* dan jenis model sistem energi lainnya. Studi aliran daya merupakan hal yang penting dalam sistem tenaga listrik. Studi aliran daya memberikan informasi tentang kinerja dan aliran daya baik daya nyata dan reaktif untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja dalam keadaan tunak (*steady state*). Studi aliran daya juga mengungkapkan informasi mengenai beban saluran transmisi di sistem, tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem tenaga dan bertujuan untuk menentukan besarnya daya nyata, daya reaktif di berbagai sistem daya yang dalam keadaan berlangsung atau diharapkan untuk beroperasi secara normal [14]. Persamaan matematika dalam menyelesaikan aliran daya optimal adalah sebagai berikut:

$$F(P_g) = \sum_{n=1}^{n}(a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i) \quad (2.1)$$

Batas Pengiriman Ekonomi adalah sebagai berikut.

Batas keseimbangan daya:

$$\sum_{n=1}^{n} P_{gi} = P_d + P_L \quad (2.2)$$

Rumus daya aktif optimal:

$$P_{Ga} - P_{Da} = V_a \sum_{n=1}^{NB} V_b(G_{ab} \cos(\theta_a - \theta_b) + B_{ab} sin(\theta_a - \theta_b)) \quad (2.3)$$

Dimana:

$F(P_g)$ = Total generation costs

$a_{i,}b_{i,}c_{i,}$ = The coefficient of fuel costs

P_d = Power Load

$P_{L,}$ = Losses

$G_{ab,}B_{ab}$ = Admittance of line a,b

Secara umum, rugi rugi daya seperti pada rumus berikut:

$$P_L = I^2R \quad (2.4)$$

Dimana:

P_L = Power losses

I^2 = current flowing on line (ampere)

R = resistance on line (ohm/ Ω)

```
k=k+1;
S(n)= P(n)+j*Q(n);
Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) -  Qsh(n);
Pgg(k)=Pg(n);
Qgg(k)=Qg(n);      %june 97
elseif  kb(n) ==2
k=k+1;
S(n)=P(n)+j*Q(n);
Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
Pgg(k)=Pg(n);
```

Gambar 2.3 Fungsi Objective losses

Pada persamaan 2.2 dan 2.4 telah diketahui, secara umum batas keseimbangan daya dan rugi rugi daya dimana konstanta-konstanta terkait penelitian dilakukan adalah total pembangkit F(P_G) secara keseluruhan sejumlah 11 pembangkit termal dan 2 pembangkit tenaga angin. Dan total keseluruhan jumlah beban pada pembangkit (P_d) dihasilkan 1543,35. Sedangkan total keseluruhan Losses sebelum optimasi sebesar 509,82 dan setelah di optimasi sebesar 400,94 .

Studi aliran daya sangat diperlukan dalam perencanaan serta pengembangan sistem di masa-masa mendatang karena seiring dengan

bertambah tingginya kebutuhan tenaga listrik, maka selalu terjadi perubahan beban, penambahan unit-unit pembangkit dan perubahan saluran transmisi.

Pada suatu sistem tenaga listrik, terdapat beberapa jenis bus yaitu:

1. Bus beban. Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut sebagai bus beban. Pada bus ini daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) diketahui sehingga sering disebut sebagai bus PQ. Daya aktif dan reaktif yang dicatu ke dalam sistem tenaga bernilai positif sementara daya aktif dan reaktif yang dikonsumsi bernilai negatif besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah tegangan (V) dan sudut beban.
2. Bus generator. Bus generator juga disebut sebagai *voltage* controlled bus karena tegangan pada bus ini selalu dibuat konstan dan bus di mana terdapat generator. Pembangkitan daya aktif dapat dikendalikan dengan mengatur penggerak mula dan nilai tegangan dikendalikan dengan mengatur eksitasi generator. Sehingga bus ini juga biasa disebut sebagai bus PV. Besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah daya reaktif dan sudut beban.
3. *Slack* bus. *Slack* bus atau biasa disebut dengan *swing* bus. Besaran yang diketahui dari sini adalah tegangan dan sudut beban. Suatu sistem tenaga biasanya dirancang memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi yaitu besaran sudut beban = $0°$. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif dan daya reaktif.

D. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Energi angin merupakan energi yang berasal dari alam. Angin ini disebabkan karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Sekarang ini, energi angin hanya memenuhi sebagian kecil saja dari kebutuhan energi. Dengan adanya kemajuan teknologi, penggunaan energi angin makin meningkat dan biaya pemakaiannya semakin murah [15].

Dengan adanya turbin angin maka energi angin bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbarui yaitu angin. pembangkit listrik konvensional seperti PLTD dan PLTU, turbin angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan diharapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Dengan Adanya energi angin sebagai nonkonvensional, energi angin dapat menggantikan energi bahan bakar fosil sebagai sumber daya energi dimuka bumi ini [16]. Perbedaan mendasar dari pembangkit listrik tenaga bayu yang ada di Sulawesi Selatan:

- PLTB TOLO:
    a) Kapasitas : 60 MW
    b) Wind turbine : 20 Unit

c) Tinggi tower : 132 m

d) Panjang baling-baling : 64 m

e) Total produksi : 142, 86 MWh

- PLTB SIDRAP

a) Kapasitas : 75 MW

b) Wind turbine : 30 Unit

c) Tinggi tower : 80 m

d) Panjang baling-baling : 57 m

e) Total produksi : 35.000 MWh

2. Biaya Pembangkitan

Biaya operasi dari suatu sistem tenaga listrik merupakan biaya terbesar dalam pengoperasian suatu perusahaan listrik. Biaya yang dikeluarkan oleh suatu perusahaan listrik untuk menghasilkan energi listrik dalam suatu sistem tenaga listrik ditentukan oleh biaya investasi dan biaya operasi atau biaya produksi [17]. Besar biaya investasi tidak bergantung pada besar daya keluaran pembangkit tetapi bergantung pada besar kapasitas daya terpasang pembangkit. Biaya investasi meliputi biaya pembangunan pusat pembangkit, jaringan transmisi dan distribusi serta peralatan sistem lainnya, sedangkan biaya operasi atau biaya produksi merupakan semua biaya yang dikeluarkan dalam pengoperasian suatu pembangkit. Untuk sistem yang sudah ada (telah beroperasi) biaya investasi telah tertentu besarnya. Meminimumkan biaya operasi pembangkitan adalah merupakan optimisasi, sehingga optimisasi

pembangkitan dapat didefenisikan sebagai suatu proses pembangkitan yang bertujuan untuk mengoptimalkan daya dan meminimumkan biaya pembangkitan.

3. Fungsi Biaya Pembangkit Tenaga Angin

Fungsi biaya pembangkit tenaga angin ke-*j* dituliskan pada Persamaan (2. 5).

$$CW_j = C_{dw_j} + C_{pw_j} + C_{rw_j} \quad (2.5)$$

Pada persamaan (2.1), variabel pertama mewakili *direct cost* pembangkitan dari pembangkit tenaga angin. *Direct cost* ini bersifat *linear* dengan daya yang dibangkitkan pembangkit, dituliskan pada persamaan (2.6). Sedangkan variabel kedua merupakan *penalty cost* akibat *underestimation*, karena tidak menggunakan semua tenaga angin yang tersedia. Biasanya daya yang terbuang ini disalurkan ke *dummy* resistor atau baterai. Jika operator adalah pemilik pembangkit tenaga angin, maka kedua variabel tersebut diabaikan. Sedangkan variabel yang ketiga adalah *reserve cost* akibat *overestimation* daya pembangkit tenaga angin, sehingga operator memesan daya pada grid. Jika pembangkit tenaga angin dimiliki oleh operator maka variabel *direct cost* dan *reserve cost* dapat diabaikan.

$$C_{d_{w_j}} = K_{d_{w_j}} = (W_j) \quad (2.6)$$

$$C_{p_{w_j}} = K_{p_{w_j}} \left(W_{av_j - W_j}\right) = K_{p_{w_j}} (S_1 + S_2) \quad (2.7)$$

$$C_{r_{w_j}} = K_{r_{w_j}} \left(W_j - W_{av_j}\right) = K_{r_{w_j}} (S_3 + S_4) \quad (2.8)$$

Dengan:

CW_j = biaya pembangkitan unit tenaga angin ke-j

$C_{d_{w_j}}$ = direct cost pembangkit tenaga angin ke-j

$C_{p_{w_j}}$ = penalty cost pembangkit tenaga angin ke-j

$C_{r_{w_j}}$ = reserve cost pembangkit tenaga angin ke-j

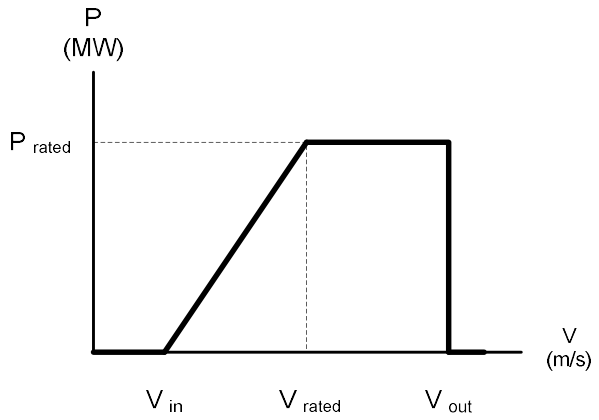
$K_{d_{w_j}}$ = koefisien direct cost pembangkit tenaga angin ke-j

$K_{p_{w_j}}$ = koefisien penalty cost pembangkit tenaga angin ke-j

$K_{r_{w_j}}$ = koefisien reserve cost pembangkit tenaga angin ke-j

W_j = daya yang dibangkitkan pembangkit tenaga angin ke-j

Daya *output* pembangkit tenaga angin tergantung pada kecepatan angin. Pembangkit tenaga angin tidak mengeluarkan daya saat kecepatan angin kurang dari $\mathrm{V_{in}}$ dan saat kecepatan angin lebih besar dari v_{out}. Pembangkit tenaga angin mulai membangkitkan daya secara linear saat kecepatan angin berada di range antara $\mathrm{V_{in}}$ dan $\mathrm{V_r}$. Saat kecepatan angin berada di range $\mathrm{V_r}$ dan $\mathrm{V_{out}}$, maka daya *output* pembangkit tenaga angin bersifat konstan dengan nilai sebesar kapasitasnya, yaitu wr. Karakterisitik ini dapat diplot secara umum dan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Karakteristik Input-Output Pembangkit Tenaga Angin [18]

4. Karakteristik *Input-Output* Pembangkit

Karakteristik *input output* pembangkit termal adalah karakteristik yang menggambarkan hubungan antara *input* bahan bakar (liter/jam) dan *output* yang dihasilkan oleh pembangkit (MW). Pada umumnya karakteristik *input output* pembangkit termal didekati dengan fungsi polinomial orde dua yaitu [19]:

$$H_i = \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (2.9)$$

Dengan:

H_i = *Input* bahan bakar pembangkit termal ke-*i* (liter/jam)

P_i = *Output* pembangkit termal ke-*i* (MW)

$\alpha_i\ \beta_i\ \gamma_i$ = Konstanta *input-output* pembangkit termal ke-*i*. Penentuan parameter, $\alpha_i\ \beta_i$ dan $\gamma_i$membutuhkan data yang berhubungan dengan *input* bahan bakar H_i dan *output* pembangkit P_i.

Setiap pembangkit listrik menghasilkan daya sesuai dengan nilai momen inersianya [20]. Persamaan untuk menjelaskan nilai daya masing-masing generator dapat dilihat pada persamaan:

$$P_{Generator} = \frac{H_{Generator}}{Total\ H_{Generator}}\ x\ P_{Total} \quad (2.10)$$

E. Metode *Ant Colony Optimization*

A. *Ant Colony Optimization (ACO)*

Metode ini pertama ditemukan oleh Marco Dorigo (1991) yaitu suatu teknik untuk menentukan jalur yang paling pendek antara titik sumber dengan suatu daerah yang dituju. Pada awalnya semut mencari lintasan secara acak. Ketika semut menemukan sumber makanan, semut akan berjalan kembali ke sarangnya dengan meninggalkan jejak berupa feromon yang menunjukan jalan menuju sumber makan tersebut. Ketika semut-semut yang lain menemukan jejak feromon tersebut, maka semut-semut yang lain akan berjalan mengkuti jejak feromon menuju sumber makanan. Semut-semut kemudian mengarahkan koloninya ke jejak feromon tadi. Ketika semut-semut tersebut membawa makanan kembali ke sarang, jejak feromon tadi akan semakin tebal. Jejak feromon akan semakin tebal karena begitu banyak semut yang melewati lintasan yang sama. Jejak feromon dilintasan yang jauh semakin lama akan menguap dan menghilang [21]. Hal ini mulai berhenti ketika ada semut yang menemukan sumber makanan yang lain. Setiap semut adalah agen sederhana yang memiliki karakteristik sebagai berikut [22]:

a. Semut memilih simpul yang akan dikunjungi dengan mempertimbangan probabilitas. Probabilitas di sini adalah sebuah fungsi yang dipengaruhi oleh jarak simpul dan jumlah feromon yang terkandung dalam sebuah arc.

b. Agar semut tidak terjebak dalam path yang sama, kunjungan ke simpul yang sudah dikunjungi tidak diperbolehkan.

c. Semut meninggalkan sebuah trail di sebuah arc (i, j) yang dilewatinya.

Secara garis besar metode *Ant Colony* permasalahan terlebih dahulu dijabarkan dalam bentuk graft/jaringan. Dalam graft tersebut didefinisikan (N E) yang merupakan himpunan simpul dan percabangan yang nantinya menjadi jalur semut untuk menuju sumber makanan. Setiap akan membentuk *tour* berdasarkan *state transition rule*. Ketika membentuk suatu *tour,* setiap semut akan mengubah besarnya *pheromone* pada cabang yang dilaluinya berdasarkan *local updating rule*. Apabila semua semut telah selesai membentuk suatu *tour,* jumlah *pheromone* pada setiap cabang akan mengalami perubahan sesuai dengan global *updating rule.*

Pemilihan simpul yang digunakan dalam bentuk metode Ant Colony dirumuskan sebagai berikut:

$$s(i,j) = \{argmax j€Uk((\tau ij \text{n} ij\beta, \text{q} \leq q_0 \quad (2.11)$$

$$Pij, \text{q} \leq q_0$$

$$\text{P}_{\text{i,j}}=\frac{(\tau ij)((\text{n}ij)\beta}{\sum j\in Uk(\tau ij)(\text{n}ij)\beta} \quad (2.12)$$

dimana:

τ_{ij} : Pheromone pada *arc (i,j),*

nij : *Invers* dari *arc (i,j).*

U_k : Himpunan simpul yang belum dikunjungi semut ke-k yang berada pada simpul I

β : Sebuah parameter yang menentukan hubungan antara *pheromone* dan informasi heuristik dari fungsi biaya dengan nilai (β>0).

Q : Variable acak antara 0 dan 1 , q_o parameter yang menentukan tingkat eksploitasi dan eksplorasi ($0 \leq q_o \leq 1$).

Setiap kali membentuk *tour*, semut-semut tersebut akan melewati *arc* yang ada dan mengubah besarnya *pheromone*. Hal ini ditunjukkan pada persamaan:

$$\tau ij \leftarrow (1-\rho)\tau ij - \rho\Delta\tau ij, 0 < \rho < 1 \quad (2.13)$$

Setelah semua semut telah melalui setiap simpul maka besarnya jumlah pheromone akan berubah berdasarkan persamaan global updating rule yang ditunjukkan pada persamaan:

$$\Delta\tau ij = \frac{1}{\mathrm{Lg}\, b}\ Untuk\ (i,j) \in global - best - tour \quad (2.14)$$

Dimana $L_{g\ b}$ adalah Panjang dari tour terbaik yang dihasilkan oleh sekumpulan semut tersebut.

F. *State Of The Art*

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan yang berada pada tabel 2.1. *State of the art* menunjukkan bahwa penjadwalan pembangkit perlu dilakukan untuk meminimalkan biaya produksi pembangkit. Selain itu

dengan adanya perkembangan pembangkit energi terbarukan, maka penjadwalan pembangkit perlu diintegrasikan dengan pembangkit terbarukan tersebut, salah satunya adalah pembangkit tenaga angin.

Tabel 2. 1. *State of The Art*

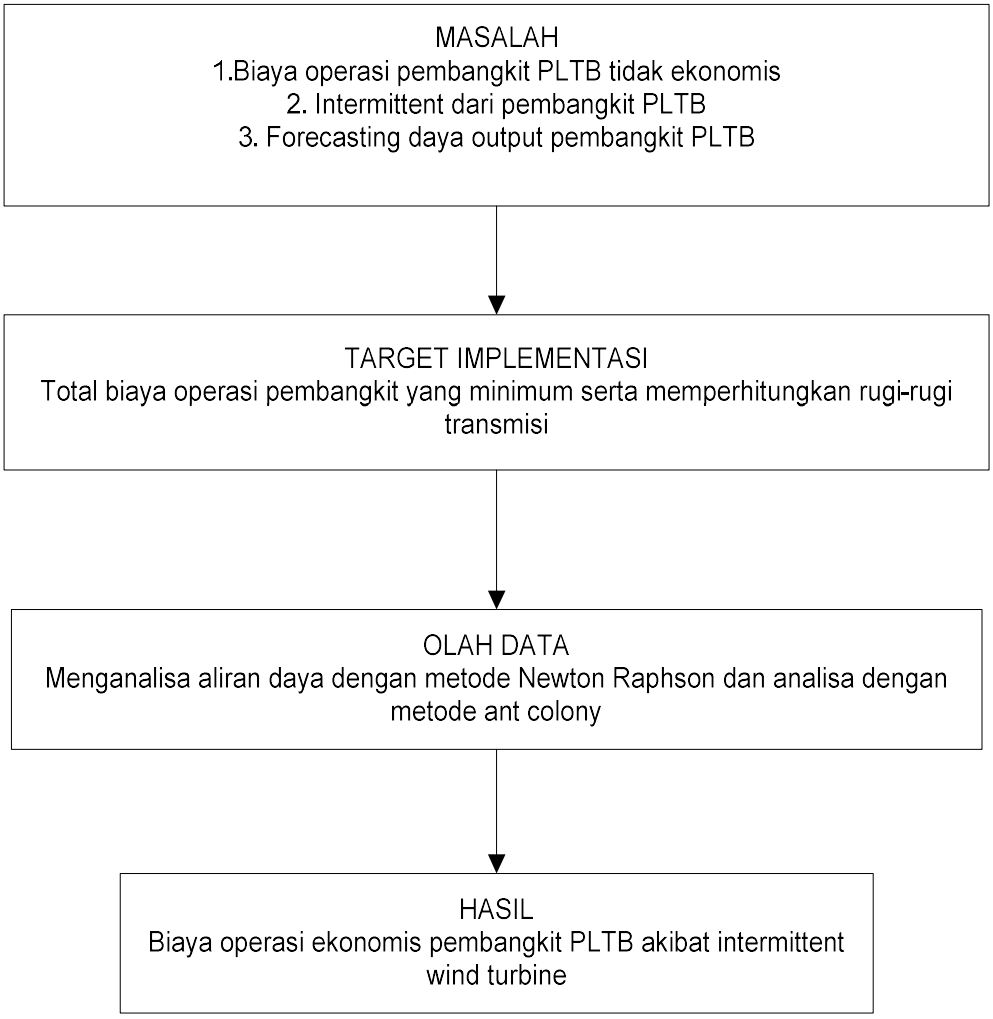
No	Judul	Penulis/ Tahun	Penerbit	Metode	Hasil	Keterbaruan
1	Dynamic Optimal Power Flow with Gheotermal Power Plant under Take or Pay Energy Contract	Rony Seto W. dkk/ 2015	IEEE International Seminar on Intelligent Technology and Its Application	Masalah DOPF diselesaikan dengan menggunakan pemrograman kuadratik (QP) berbasis Matlab	Pendekatan yang diusulkan mampu meminimalkan biaya operasi cakrawala waktu yang ditentukan sambil memenuhi batas kontrak energi antara perusahaan utilitas dan generator. Selain itu, pendekatan yang diusulkan mampu memenuhi batasan lain seperti: batas saluran transmisi dan batas laju ramp. Demi masa depan bekerja, pendekatan yang diusulkan dapat diperluas dengan mempertimbangkan cadangan pemintaan, pelepasan beban, dan perangkat FACTS.	Permasalahan DOPF dengan menggunakan metode ACO dapat mengoptimalkan biaya ekonomis dan memperhitungkan losses transmisi.
2	Power Flow and Dynamic Optimal Power Flow Including Wind Farms	Gonggui Chen, dkk/ 2009	IEEE Electrical Power and Energy Systems	Shuffled frog leaping algorithm (SFLA) dan Particle swarm optimization (PSO)	hasil menunjukkan bahwa SFLA memberikan pengiriman minimum yang lebih tepat solusi dan mencapai efisiensi ekonomi yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma PSO.	DOPF Dengan mengintegrasikan pembangkit listrik tenaga bayu dan menggunakan metode *Ant colony* dijabarkan dalam bentuk graft/jaringan sehingga dalam hasil yang dicapai dapat membantu pengoptimalan biaya dibandingkan dengan Metode Newton Raphson.
3	Stochastic Multiperiod OPF Model of	Abbas Rabbie,	IEEE Transacti ons on	Metode optimal multiperiod	Dari hasil numerik bahwa ketersediaan kapasitas jaringan	*DOPF* memperhitungkan *intermittent wind*

	Power Systems With HVDC-Connected Intermittent Wind Power Generation	dkk / 2014	Power Delivery	stokastik (SMP-OPF)	transmisi pada interface jaringan ac / dc merupakan faktor kunci yang mempengaruhi pemanfaatan kemampuan pembangkit listrik. Selain itu, dalam skenario dengan kapasitas pembangkit tenaga angin yang tersedia lebih rendah, pengadaan listrik dari pasar kolam akan lebih menyeimbangkan antara generasi dan permintaan setiap jam.	*turbine* dan melakukan *scenario dalam 24 jam* pada sistem Sulselrabar dapat memberikan solusi optimasi yang ekonomis.
4	Adaptive Ant Colony Optimization Algorithm	Gu Ping, dkk / 2014	IEEE International Conference on Mechatronics and Control (ICMC)	Ant Colony Optimization	Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma memiliki kinerja pengoptimalan yang baik, dan dapat menyelesaikan perjalanan masalah salesman secara efektif.	ACO dapat menyelesaikan perjalanan untuk mencari solusi optimasi biaya dan rugi-rugi transmisi.
5	Distributed Probabilistic ATC Assessment by Optimality Conditions Decomposition and LHS Considering Intermittent Wind Power Generation	Nelson Fabia Avila, dkk / 2018	IEEE Transactions on Suistanable Energy	Optimality condition decomposition (OCD) dan Latin hypercube sampling (LHS)	Hasil simulasi menegaskan bahwa fungsi kepadatan probabilitas dan fungsi kepadatan dapat ditentukan oleh algoritma yang diusulkan. Selain itu, metode terdistribusi berdasarkan algoritma optimality condition decomposition (OCD) dan Latin hypercube sampling (LHS) yang diusulkan menunjukkan kebenaran penilaian ATC probabilistik terdistribusi yang diusulkan.	Memperhitungkan intermiitent wind turbine yang diuji dalam system interkoneksi 150 kV SULBAGSEL memberikan biaya ekonomis dengan penerapan metode ACO.
6	Analysis and Comparison Among Ant System; Ant Colony System and Max-Min Ant System With	Renu Jangra, dkk/ 2017	IEEE International Conference on Computational	Ant System (AS), Max Min Ant System (MMAS), Ant Colony System (ACS)	Hasil sistem lebih baik di antara tiga sehubungan dengan yang lain algoritma dengan cara ketika hitungan semut dan iterasi meningkat,	DOPF yang mengkombinasikan metode Newton Raphson dengan metode ACO, metode ACO lebih memberikan hasil

	Different Parameters Setting		Intelligence and Communication Technology		biaya rute yang diambil oleh semut dan waktu diambil kurang di ACS. ACS juga lebih baik dalam hal panjang rute yang dicakup oleh semut saat menghitung terhadap kombinasi. Peneliti juga dapat menganalisis varian ACO pada nilai parameter lain, mungkin menunjukkan perilaku yang berbeda dan ACO adalah salah satu pemecahan masalah optimasi metaheuristik terbaik metode.	yang lebih ekonomis dibanding dengan metode Newton Raphson.
7	Effects of wind power intermittency on generation and emissions	Reid Dorsey-Palmeter / 2019	The Electricity Journal		Tenaga angin bergantung pada kondisi lingkungan yang bervariasi dan tidak dapat diperkirakan dengan sempurna. Intermittency ini dapat meningkatkan fleksibilitas yang diinginkan dari generasi bahan bakar fosil, yang berdampak pada emisi. Makalah ini menemukan bahwa berbagai jenis intermittency pembangkit angin dikaitkan dengan pergeseran ke arah pembangkitan gas alam dan penurunan emisi CO2. Efek lingkungan dari intermittency angin harus dipertimbangkan saat menentukan dampak keseluruhan dari aktivitas yang berhubungan dengan intermittency seperti keputusan penempatan grid atau turbin yang diperluas.	Dalam memperhitungkan intermittent wind turbine dalam masalah DOPF adalah solusi terbaik untuk memecahkan permasalahan angin yang tidak menentu sehingga mendapatkan hasil optimasi biaya yang ekonomis.

8	Multitime Scale Coordinated Scheduling for the Combined System of Wind Power, Photovoltaic, Thermal Generator, Hydro Pumped Storage, and Batteries	Shiwei Xia, dkk / 2020	IEEE Transactions on Industry Applications	Wind power-photovoltaic-thermal generator-hydro pumped storage-battery (WPTHB)	Simulasi ini telah memvalidasi bahwa model penjadwalan terkoordinasi skala multiwaktu yang diusulkan dapat sepenuhnya mengeksplorasi kecepatan dan kapasitas regulasi daya yang berbeda dari unit daya termal, penyimpanan yang dipompa air, dan baterai untuk melacak variasi WPL secara efektif dan mencapai operasi ekonomi sistem secara bersamaan.	
9	Optimal Power Flow the Sulselrabar 150 KV system before and after the penetration of wind power plants considering power loss and generation costs	A M Ilyas, A suyuti, I C Gunadin, A Siswanto/ 2020	IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering	Improved Particle Swarm Optimization (IPSO) dan Lagrange.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa IPSO menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan Lagrange dan hasil dari sistem yang ada.	Dengan memperhitungkan *losses* dan biaya menggunakan metode ACO menunjukkan hasil yang lebih baik dari metode sebelumnya.
10	Dynamic Optimal Power Flow Dengan memperhitungkan intermittent wind turbine menggunakan metode Ant Colony (ACO)	Ratih Puspita Siwi/ 2021	-	Metode Ant Colony Optimization	Biaya Operasi ekonomis pembangkit akibat intermittent wind turbine.	

G. Kerangka Pikir



Gambar 2. 4 Kerangka Pikir