**BAB 1**

**PENDAHULUAN**

* 1. **Latar Belelakang**

Saat ini energi listrik telah menjadi suatu kebutuhan utama bagi manusia, seperti kebutuhan utama yang lain. Hampir semua aktivitas manusia membutuhkan tenaga listrik. Kebutuhan akan tenaga listrik selalu bertambah dari waktu ke waktu. Untuk tetap dapat melayani kebutuhan tenaga listrik, maka pembangkitan tenaga listrik haruslah dikembangkan senada dengan kenaikan kebutuhan akan tenaga listrik. Permintaan tenaga listrik yang terus bertambah menyebabkan tenaga listrik yang harus disuplai oleh pembangkit menjadi sangat besar. Banyak sekali hal yang mempengaruhi pembangkitan tenaga listrik, salah satu yang paling utama adalah penggunaan bahan bakar. Selain itu, peningkatan kebutuhan tenaga listrik harus diimbangi dengan pengelolaan sumber pembangkit yang baik. Sehingga mampu menyediakan tenaga listrik ekonomis dan tetap menjaga kualitas prima meliputi kontinuitas, seimbang, stabil dan kadar harmonik yang rendah

Dengan terus meningkatnya permintaan beban ditambah semakin mahalnya bahan bakar untuk membangkitkan tenaga listrik, maka produsen listrik ditutut untuk dapat mengatur pembangkitan listrik secara efisien. Pembangkitan yang efisien adalah pembangkitan yang tetap memenuhi permintaan beban dengan biaya pembangkitan paling minimal. Dengan mengatur pembangkitan secara efisien maka permintaan beban akan tetap terpenuhi dan produsen listrik tidak mengalami kerugian dalam memproduksi listrik.

Optimal Power Flow (OPF) adalah pengaturan terhadap aliran daya sehingga didapatkan nilai yang paling optimal. Dalam studi sistem tenaga OPF merupakan suatu cara yang dilakukan untuk mendapatkan pola operasi dengan mengoptimalkan fungsi obyektif tertentu dengan mempertimbangkan batasan-batasan yang berlaku. Fungsi objektif yang dioptimalkan dalam hal ini adalah fungsi biaya bahan bakar, Batasan – batasan yang dicakup antara lain batasan pembangkitan daya aktif serta daya reaktif unit pembangkit, batasan tegangan yang diizinkan pada masing-masing bus dan batasan pembebanan saluran. Penyelesaian OPF dapat diperoleh dan diselesaikan dengan menggunakan software ETAP.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi daya aktif yang paling optimal dari setiap unit pembangkit dengan mempertimbangkan fungsi biaya bahan bakar setiap pembangkit dan batasan daya aktif pembangkitan menggunakan software ETAP 12.6, sehingga diperoleh pengoperasian pembangkit yang tetap dapat memasok listrik dengan kualitas baik dan meminimalisasi losses saluran

* 1. **Rumusan Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaturan optimasi aliran daya unit pembangkit melalui simulasi OPF pada software ETAP 12.6 ?
2. Bagaimana kondisi aliran daya yang optimal pada unit pembangkit?
   1. **Batasan Permasalahan**

Dalam penyelesaian masalah penelitian ini terdapat beberapa batasan – batasan dan asumsi sebagai berikut :

1. Simulasi dilakukan menggunakan software ETAP 12.6.
2. Hanya menentukan besar daya aktif dibangkitkan oleh setiap pembangkit.
3. Data beban sudah ditetapkan diawal.
4. Test systems mengunakan Sistem 5 bus.
5. Fungsi objektif yang diatur secara optimal, yaitu fungsi biaya pembangkitan, dan fungsi batasan kapasitas daya aktif pembangkit
   1. **Tujuan Permasalahan**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Melakukan pengaturan optimasi aliran daya unit pembangkit melalui simulasi OPF pada software ETAP 12.6.
2. Untuk mendapatkan kondisi aliran daya yang optimal setiap unit pembangkit
   1. **Sistematika Penulisan**

**Bab 3**

**Landasan teori**

2. 1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang terdiri dari kompunen – komponen penyusun tenaga listrik. Secara umum komponen – komponen dalam sistem tenaga listrik dibagi menjadi tiga bagian, yakni Pembangkit tenaga listrik, jaringan transmisi – distribusi dan beban.

2. 1. 1. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik adalah tempat dimana tenaga listrik dibangkitkan yang terdiri dari beberapa komponen utama, diantaranya adalah generator dan prime mover. Generator sendiri merupakan mesin listrik yang mengkonversi energi kinetik menjadi energi listrik. Energi kinetik yang didapatkan oleh generator berasal dari penggerak mula (prime mover). Energi kinetik penggerak mula ini bisa didapatkan dengan berbagai macam sumber. Ada yang menggunakan energi potensial dari alam, seperti energi potensial air dan angin. Ada yang menggunakan energi thermal seperti batubara, gas alam, bahan bakar minyak hingga nuklir. Ada juga yang menggunakan energi matahari, yakni Photovoltaic (PV).

a. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi potensial air sebagai sumber energi penggerak turbin. PLTA biasanya memiliki bendungan untuk menampung air dalam jumlah besar dengan ketinggian tertentu. Dari ketinggian ini kemudian dibuat jalur dengan sudut kemiringan tertentu sehingga didapatkan kecepatan air yang sesuai untuk mendapatkan tenaga yang diinginkan. PLTA dengan bendungan juga memiliki pengatur debit air agar bisa mendapatkan debit air yang sesuai dengan kebutuhan beban. Air yang memasuki jalur turbin juga harus steril dari mikroorganisme. Oleh karena itu ada penampungan khusus untuk dilakukan sterilisasi air agar air tidak mengandung mikroorganisme. Hal ini bertujuan untuk menjaga jalur air yang dilewati air tetap steril dan tidak kotor, juga menjaga turbin dari kerusakan yang ditimbulkan oleh adanya mikroorganisme itu sendiri, seperti adanya lumut dan karat. Contoh PLTA di pulau Jawa adalah PLTA Mrican di Mrican, Jawa Barat dan PLTA Sutami di Malang, Jawa Timur.

b. Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pembangkit dengan tenaga angin memanfaatkan kekuatan hembusan angin untuk memutar turbin yang berbentuk baling – baling. Posisi turbin dan generator harus memiliki ketinggian tertentu agar mendapatkan kecepatan angin yang sesuai. Kecepatan angin pun harus memenuhi nilai tertentu, yakni minimal 3 m/s dan maksimal 20 m/s.

c. Pembangkit Listrik Tenaga Uap Pembangkit dengan tenaga uap ada beberapa jenis, namun yang ada di Indonesia untuk saat ini menggunakan bahan bakar batubara dan panas bumi. Prinsip kerja kedua pembangkit ini sama, yakni energi panas dari bahan baku yang dibakar atau panas dari perut bumi disalurkan ke dalam boiler (ketel uap). Dalam boiler ini terdapat pipa – pipa yang berisi air, yang nantinya dipanaskan dalam boiler. Semakin lama air dalam pipa tersebut mengalami penguapan dan kenaikan suhu yang signifikan. Akibatnya uap air menjadi bertekanan tinggi dan memutar turbin gas. Putaran turbin yang satu shaft dengan generator kemudian menghasilkan energi listrik. Uap air yang memiliki suhu tinggi tadi kemudian didinginkan kembali melalui kondensor. Pendingin kondensor sendiri biasanya memanfaatkan air laut. Oleh karena itu biasanya pembangkit listrik dengan batubara memiliki lokasi di pinggir laut. Selain pendinginan yang menggunakan air laut, pengiriman dan penyimpanan lebih mudah dilakukan dengan transportasi laut (menggunakan kapal tongkang). Pembangkit tenaga batubara contohnya adalah PLTU Paiton dan Suralaya

d. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG/PLTGU) Pembangkit listrik tenaga gas memiliki prinsip yang sedikit berbeda dengan pembangkit termal batubara dan panas bumi. Pada pembangkit ini, gas yang disalurkan melalui pipa ditampung ke dalam tabung kompresor terlebih dahulu sehingga memiliki tekanan yang sangat tinggi. Setelah itu gas bertekanan tinggi ini dicampurkan dengan intake gas lainnya, yakni udara sekitar yang juga telah dimampatkan terlebih dahulu. Setelah campuran sesuai, kemudian gas campuran ini masuk ke dalam ruang bakar (combustion chamber) dan menghasilkan tekanan yang sangat tinggi. Energi kalor dari pembakaran inilah yang kemudian digunakan untuk memutar turbin gas dan memutar generator untuk menghasilkan tenaga listrik. Untuk PLTGU, setelah gas tersebut digunakan untuk memutar turbin, maka hawa panas tidak langsung dibuang, melainkan dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air dalam boiler. Proses pemanasan kembali ini disebut dengan HRSG (Heat Recovery Generator System) yang kemudian air menjadi uap bertekanan dan digunakan untuk memutar turbin kembali. Pada beberapa industri di Indonesia gas panas dari PLTG digunakan kembali untuk keperluan industri, seperti memanaskan air dan proses kimiawi. Contoh PLTGU di Indonesia adalah PLTGU Gresik.

e. Pembangkit Listrik Tenaga Matahari (Photovoltaic / PV) Pembangkit ini memanfaatkan Sel Surya (solar cell) / photovoltaic (PV) untuk menghasilkan energi listrik. Untuk saat ini sel surya adalah alat yang mampu mengkonversi langsung energi panas dari matahari menjadi energi listrik. Dari beberapa jenis pembangkit yang disebutkan sebelumnya, pembangkit ini sangat mendukung konsep “Renewable energy” selain PLT Air dan angin. Harga investasi yang dibutuhkan untuk PV juga cukup mahal. Dalam sel surya terdapat lapisan semikonduktor yang memiliki polaritas, yakni positif dan negatif. Semikonduktor ini memiliki hubungan struktur yang disebut dengan junction p-n. pada saat terkena sinar matahari, terjadi kontak antara semikonduktor tipe n dan p, sehingga terjadi medan listrik. Saat terjadi kelebihan muatan elektron akibat kontak tersebut, elektron yang berlebih kemudian disalurkan melalui material kontak yang merupakan terminal kutub dari PV.

2. 1. 2. Transmisi dan Distribusi Untuk menyalurkan tenaga listrik dari produsen (pembangkit) kepada konsumen (beban) maka dibutuhkan saluran transmisi dan distribusi energi listrik. Posisi kawat saluran ada yang di atas tanah (overhead) dan dibawah tanah (underground). Untuk Indonesia jalur transmisi – distribusi yang digunakan hampir semuanya menggunakan jalur di atas tanah (overhead). Pada saluran transmisi tegangan dari generator biasanya dinaikkan. Hal ini bertujuan meminimalisir rugi-rugi daya pada saluran. Pada prinsipnya daya yang hilang di saluran dihitung dengan rumus P = I2R. Dengan dinaikkannya tegangan, maka I menjadi lebih kecil (dari rumus S = √3.VLL. I ) dan diharapkan daya rugi – rugi saluran juga menjadi lebih kecil. Saluran transmisi dan distribusi ini dibagi – bagi berdasarkan tegangannya. Karena tegangan yang ditransmisikan atau didistribusikan berbeda, maka spesifikasi kawat atau kabel yang digunakan juga berbeda. Berdasarkan tegangannya saluran transmisi – distribusi di Indonesia dibagi menjadi :

a. Saluran Tegangan Ekstra Tinggi (200 – 500 KV) Disebut juga saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET). Saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi sebesar 200 KV hingga 750 KV. Untuk saat ini saluran ini merupakan saluran dengan tegangan paling tinggi di Indonesia dengan tegangan 500 KV. Pembangkitan tegangan yang sangat tinggi ini efektif digunakan untuk menyalurkan daya listrik yang jauh dari pembangkit dengan jarak diatas 100 km. Kapasitas dayanya juga sangat tinggi, yakni diatas 500 MW. Saat ini saluran 500 KV terdapat pada pulau jawa, yang membentang dari PLTU Paiton hingga Suralaya. Dari saluran ekstra tinggi ini sepanjang saluran terdapat beban maupun suplai yang telah terinterkoneksi antar pembangkit satu dengan lainnya.

b. Saluran Tegangan Tinggi (70 – 150 KV) Disebut juga saluran udara tengangan tinggi (SUTT). Saluran transmisi ini memiliki tegangan antara 70 KV hingga 150 KV. Namun untuk saat ini tegangan operasi 70 KV mulai banyak ditinggalkan dan lebih sering digunakan tegangan operasi 150 KV. Konfigurasi jaringan pada umumnya memiliki konfigurasi single atau double circuit. Dalam single circuit terdapat 3 fasa saluran dengan 3 atau 4 kawat (termasuk netral). Untuk 3 kawat saluran netralnya biasanya menggunakan media tanah untuk saluran kembali. Apabila kapasitas daya yang disalurkan cukup besar bisa menggunakan lebih dari satu kawat, bisa dua atau empat kawat yang disebut dengan bundle conductor. Saluran ini efektif digunakan dengan jarak dibawah 100 km. Apabila lebih jauh nilai drop tegangan menjadi semakin besar.

c. Saluran Tegangan Menengah (6 – 30 KV) Disebut juga saluran udara tegangan menengah (SUTM), dengan tegangan operasi antara 6 KV hingga 30 KV. Di Indonesia tegangan 6 KV dan 30 KV mulai banyak ditinggalkan dan lebih condong menggunakan tegangan operasi 20 KV. Saluran tegangan menengah biasa digunakan pada hubungan antara Gardu Induk, penyulang (feeder), gardu distribusi, hingga konsumen industri atau pelanggan dengan kapasitas besar. Relay pengaman juga mulai banyak diaplikasikan pada tegangan operasi ini.Untuk efektifitas penyaluran, pengaruh pentanahan netral dan efektifitas pengaman, maka untuk saluran menengah ini memiliki jarak efektif antara 15 hingga 20 km. Lebih jauh dari itu, dikhawatirkan efektifitas pengaman menurun.

d. Saluran Tegangan Rendah (40 – 1000 V) Saluran ini disebut juga dengan saluran distribusi, yakni hilir dari saluran transmisi itu sendiri. Dengan kata lain, energi listrik yang dihasilkan oleh generator digunakan untuk memasok pelanggan kebutuhan konsumen rumah tangga. Di Indonesia saluran ini memiliki tegangan operasi 220/380V yang berarti tegangan bernilai 220 Volt line to netral dan 380 Volt line to line. Rentang tegangan yang diijinkan adalah +5% dan -10% dari tegangan operasi. Untuk saat ini penghantar yang digunakan sebagai saluran adalah Low Voltage Twisted Cable (LVTC) 2. 1. 3. Beban Beban dari sistem tenaga merupakan hilir dari aliran daya listrik. Bisa dikatakan adanya beban adalah alasan mengapa dibutuhkannya pembangkitan tenaga listrik itu sendiri. Bahkan dalam kehidupan seharihari manusia pun hampir semuanya memiliki ketergantungan dengan adanya tenaga listrik. Peralatan rumah tangga, alat – alat perkantoran, hingga proses produksi dalam industri semuanya sangat bergantung pada suplai daya listrik dari pembangkit. Dalam beberapa tahun terakhir pertumbuhan permintaan tenaga listrik sangat besar. Hal ini disebabkan oleh semakin majunya perkembangan teknologi manusia yang menggunakan sumber tenaga berupa daya listrik. Pada umumnya beban tenaga listrik yang paling besar adalah dari sektor industri, yakni yang menggunakan peralatan industri yang menyerap daya cukup besar, seperti motor induksi, motor sinkron, las, peleburan, hingga proses – proses kimiawi. Oleh karena itu konsumen yang berupa industri biasanya mendapatkan suplai langsung dari feeder dengan tegangan operasi antara 20 kV atau 150 kV.

2.1.1 Tujuan Operasi Sistem Tenaga Listrik Untuk mendapatkan operasi sistem tenaga listrik yang baik maka perlu diperhatikan tiga hal berikut ini, yaitu: 1. Ekonomi (economy), 2. Keandalan (security), 3. Kualitas (quality). Ekonomi (economy) berarti listrik harus dioperasikan secara ekonomis, tetapi dengan tetap memperhatikan keandalan dan kualitasnya. Keandalan (security) merupakan tingkat keamanan sistem terhadap kemungkinan terjadinya gangguan. Sedapat mungkin gangguan di pembangkitmaupun transmisi dapat diatasi tanpa mengakibatkan pemadaman di sisi konsumen. Kualitas (quality) tenaga listrik yang diukur dengan kualitas tegangan dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditetapkan. Didalam pelaksanaan pengendalian operasi sistem tenaga listrik, urutan prioritas dari sasaran diatas bisa berubah-ubah tergantung pada kondisi real time. Pada saat terjadi gangguan, maka keamanan adalah prioritas utama sedangkan mutu dan ekonomi bukanlah hal yang utama. Demikian juga pada saat keamanan dan mutu sudah bagus, maka selanjutnya ekonomi harus diprioritaskan. Efisiensi produksi tenaga listrik diukur dari tingkat biaya yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Hal yang paling mudah dalam optimasi biaya produksi tenaga listrik adalah dengan sistem Merit Order. Merit order ini adalah suatu metode dimana pembangkit dengan biaya yang paling murah akan diprioritaskan untuk beroperasi dibandingkan dengan yang lebih mahal, sampai beban tenaga listrik tercukupi. Sebagai gambaran dari tujuan operasi sistem tenaga listrik dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3. dibawah ini.

**SEKURITI**

**MUTU**

**EKONOMI**

Gambar 2.1 tujuan operasi sistem tenaga listrik

2.1. 2. Aliran Daya Listrik

Analisis aliran daya merupakan ilmu dasar dalam studi sistem tenaga, dimana analisa harus dilakukan pada suatu sistem tenaga untuk mencari tahu tegangan, arus dan daya yang ada. Hal ini perlu dilakukan untuk kepentingan simulasi dan penelitian. Dalam analisa aliran daya pada studi sistem tenaga, informasi penting yang dapat diperoleh antara lain daya aktif dan daya reaktif dalam saluran, sudut dan magnitude tegangan pada tiap bus dalam plant, juga impedansi saluran. Dengan adanya informasi penting tersebut dapat dilakukan analisa kondisi sistem. Permasalahan yang timbul pada analisis aliran daya adalah pada saat beban fasa satu dengan lainnya tidak seimbang, sehingga perhitungan dan analisa yang dilakukan menjadi lebih sulit dan kompleks. Oleh karena itu untuk mempermudah penyelesaian masalah aliran daya terdapat beberapa asumsi, yakni sistem diasumsikan dalam keadaan stabil, beban seimbang pada setiap fasa dan tidak terjadi gangguan dalam sistem. Pada analisis aliran daya terdapat informasi penting yang dibutuhkan yaitu tegangan dan sudut fasa pada tiap bus. Sudut fasa dan magnitude tegangan pada bus – bus dalam sistem inilah yang nantinya menjadi dasar dalam analisa kondisi sistem sehingga didapatkan kondisi yang paling ideal sesuai dengan fungsi objektif yang diinginkan. Ada tiga macam bus dalam analisa aliran daya, yaitu :

1. Bus Referensi (Slack bus / Swing bus) Slack bus atau swing bus merupakan bus yang menyuplai kekurangan daya yang dibangkitkan oleh bus – bus lain. Tegangan pada bus ini dijaga dan dipertahankan pada nilai magnitude 1 pu dengan sudut 0°. Yang berubah – ubah pada bus ini adalah daya aktif dan reaktifnya, sesuai dengan constraint-nya.

2. Bus Generator (Voltage controlled bus) Bus ini merupakan penyuplai daya aktif dan reaktif yang telah ditetapkan. Daya aktif (P) dan daya reaktif (Q Daya) pada bus ini cenderung statis dan dipertahankan, namun nilai tegangan berubah – ubah sesuai dengan constraint yang ditetapkan.

3. Bus beban (Load bus) Bus beban memiliki nilai P dan Q yang tetap, sesuai dengan beban yang aktif dalam sistem. Dalam studi aliran daya biasanya diambil nilai beban puncak untuk menjaga stabilitas sistem. Adapun untuk studi analisa aliran daya, data – data yang dibutuhkan dari bus – bus dan saluran transmisi, yaitu :

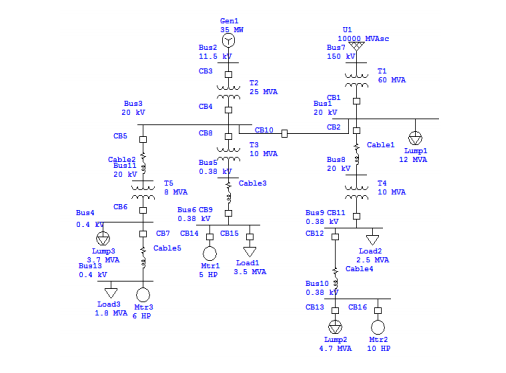
1. Magnitude tegangan (dalam bentuk p.u.)

2. Sudut tegangan (θ)

3. pembebanan meliputi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)

4. Daya pembangkitan meliputi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)

5. Constraint pembangkitan, meliputi daya aktif (Pmin dan Pmax) dan daya reaktif (Qmin dan Qmax)



Gambar 2.1 komponen dasar dalam sistem tenaga listrik

2.4.1 Pengertian Optimal Power Flow [3] Ide dari optimal power flow pertama kali dikembangkan pada tahun 1960an sebagai kelanjutan dari economic dispatch konvensional untuk menentukan pengaturan optimal dari variabel-variabel yang dibatasi berbagai macam konstrain. Optimal power flow merupakan perhitungan untuk meminimalkan suatu fungsi yaitu biaya pembangkitan suatu pembangkit tenaga listrik atau rugi-rugi saluran pada sistem tenaga transmisi dengan mengatur dengan mengatur pembangkitan daya aktif dan reaktif setiap pembangkit yang terinterkoneksi dengan memperhatikan batas-batas tertentu. Batas yang umum dinyatakan dalam perhitungan analisis aliran daya optimal adalah berupa batas minimum dan maksimum untuk pembangkitan daya aktif pada pembangkit. OPF digunakan untuk mengoptimasi aliran daya dari sistem tenaga berskala besar. Cara ini dilakukan dengan memperecil fungsi-fungsi objektif yang dipilih sambil mempertahankan daya guna sistem yang dapat diterima dari batas kemampuan daya pada generator. Berikut ini merupakan fungsi sederhana yang digunakan dalam permasalahan OPF:

𝐹(𝑥̅, 𝑢̅)

𝑔(𝑥̅, 𝑢̅)

ℎ(𝑥̅, 𝑢̅) ≤ 0

Dimana 𝐹(𝑥̅, 𝑢̅) untuk memenuhi batasan-batasan 𝑔(𝑥̅, 𝑢̅) = 0 dan ℎ(𝑥̅, 𝑢̅) ≤ 0, sedangkan 𝑔(𝑥̅, 𝑢̅) adalah nonlinier equality constraints (persamaan aliran daya) yang menggambarkan fisik dari sistem seperti halnya set point tegangan yang diinginkan pada seluruh sistem. Fisik dari sistem tersebut memaksa persamaan aliran daya yang diinjeksikan terutama daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus jumlahnya sama dengan nol dan ℎ(𝑥̅, 𝑢̅) adalah nonlinier inequality constraints merupakan komponen dari peralatan sistem tenaga listrik yang memiliki batas operasi, batas ini dibuat untuk keamanan. Oleh sebab itu, fungsi objektif dapat diminimalkan dengan pemeliharaan komponen sistem tenaga listrik dengan memperhatikan batas–batas keamanan. Vektor x terdiri dari nilai variabel-variabel meliputi voltage magnitude dan sudut fasanya, keluaran MVAr dari generator yang dirancang untuk pengaturan tegangan bus dan juga terdiri dari beberapa parameterparameter yang bernilai tetap meliputi sudut fasa pada reference bus, line parameter, dll. Vektor u berdiri dari nilai variabel control meliputu daya aktif dan daya reaktif dari pembangkitan, beban MW dan MVAr. Tujuan utama dari OPF adalah untuk menentukan pengaturan variabel kontrol dan sistem persamaan yang mengoptimalkan nilai fungsi objektif. Pemilihan fungsi ini harus didasarkan pada analisis yang cermat dari sistem daya listrik dan secara ekonomi. Variabel kontrol pada masalah aliran daya yang optimal merupakan kuantitas yang nilainya bisa disesuaikan secara langsung untuk membantu meminimalkan fungsi tujuan dan memenuhi batasan-batasan. Variabel kontrol dapat berupa: daya aktif generator, daya reaktif generator, rasio tap trafo dan tegangan bus generator. OPF adalah upaya yang dilakukan dalam pengoperasian sistem tenaga listrik supaya daya yang dialirkan dari generator hingga sampai ke beban dengan hasil yang optimal dan murah serta tanpa mengganggu berbagai batasan-batasan pengoperasian seperti batasan minimum dan maksimum daya pembangkitan oleh generator, batasan tegangan, frekuensi, harga, faktor daya, batasan area pengoperasian, keamanan, emisi dan sebagainya.

2.4.2 Persamaan Matematis OPF

Persamaan dari optimal power flow dari segi biaya pembangkitan direpresentasikan pada persamaan 2.12.

𝐹𝑖 (𝑃𝑖 ) = 𝑎𝑖𝑃𝑖 2 + 𝑏𝑖𝑃𝑖 +𝑐𝑖 (2.12)

Keterangan :

𝐹𝑖 = besar biaya pembangkitan pada pembangkit ke-i (Rp)

𝑃𝑖 = daya output dari pembangkit ke-i (MW)

𝑎𝑖 , 𝑏𝑖 dan 𝑐𝑖 adalah cost coefficient unit generator ke-i

Dalam memecahkan suatu masalah optimasi, seperti OPF, ada dua batasan yaitu equality dan inequality constraint. Equality constraint adalah batasan yang harus diikuti. Sebagai contoh dalam OPF ada persamaan keseimbangan daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus harus selalu dicukupi.

Equality constrain pada OPF mempunyai persamaan sebagai berikut:

(2.23)

(2.23)

Dimana 𝑖 = 1,2, . . . n menyatakan jumlah bus. 𝑃𝑖 dan 𝑄𝑖 menyatakan injeksi daya aktif dan reaktif di bus 𝑖. 𝑃𝑔𝑖 dan 𝑄𝑔𝑖 menyatakan daya aktif dan reaktif generator di bus 𝑖. 𝑃𝑑𝑖 dan 𝑄𝑑𝑖 menyatakan daya aktif dan reaktif beban di bus 𝑖. 𝑌𝑖𝑗 = 𝐺𝑖𝑗 + 𝐵𝑖𝑗 menyatakan elemen dari ke 𝑖 − 𝑗 dari matrik Y bus matrik.

Inequality constraint menggambarkan batasan operasi dan batas ini dibuat untuk batas keamanan. Berikut ini persamaan Inequality constraint pada OPF sebagai berikut: 1) Batasan kapasitas pembangkit :

𝑃𝑔𝑖 𝑚𝑖𝑛 ≤ 𝑃𝑔𝑖 ≤ 𝑃𝑔𝑖 𝑚𝑎𝑥 , i = 1,2,3,…𝑁𝑔

𝑄𝑔𝑖 𝑚𝑖𝑛 ≤ 𝑄𝑔𝑖 ≤ 𝑄𝑔𝑖 𝑚𝑎𝑥 , i = 1,2,3,…𝑁𝑔 (2.15)

2) Batasan tegangan :

𝑉𝑖 𝑚𝑖𝑛 ≤ 𝑉𝑖 ≤ 𝑉𝑖 𝑚𝑎𝑥 , i = 1,2,3,…𝑁𝑔

𝛿𝑖 𝑚𝑖𝑛 ≤ 𝛿𝑖 ≤ 𝛿𝑖 𝑚𝑎𝑥 , i = 1,2,3,…𝑁𝑔 (2.16)

3) Batasan termal transmisi :

(2.17)

Dimana:

𝑃𝑖 : Injeksi daya aktif di bus i

𝑄𝑖 : Injeksi daya reaktif di bus i

: Daya aktif di bus i

𝑃𝑑𝑖 : Pembebanan daya aktif pada di bus i

: Daya reaktif di bus i

𝑃𝑑𝑖 : Pembebanan daya aktif di bus i

δ i : Sudut fasa tegangan bus i

δ j : Sudut fasa tegangan bus j