

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Saat ini, sistem tenaga listrik merupakan jaringan terinterkoneksi. Secara umum sistem tenaga listrik dibagi menjadi 4 bagian, antara lain:

1. Pembangkitan
2. Transmisi dan Subtransmisi
3. Distribusi
4. Beban [1].

2.1.1 Pembangkitan

Pada unit pembangkit terdapat generator yang berfungsi menghasilkan daya listrik. Biasanya generator yang digunakan merupakan generator AC 3 fasa, yang juga disebut generator sinkron atau alternator. Generator sinkron memiliki 2 medan putar yang sinkron. Medan pertama dihasilkan oleh perputaran rotor (kumparan medan) yang digerakkan secara sinkron dan diberi penguatan (excitation) oleh arus DC. Medan yang lain merupakan medan yang dihasilkan pada stator (kumparan jangkar) 3 fasa. Untuk memutar rotor pada generator digunakan sumber tenaga mekanis, biasanya disebut prime mover, dapat berupa turbin hidrolis di air terjun, turbin uap yang mendapatkan energi dari pembakaran batubara, gas, dan bahan bakar nuklir, serta pembakaran minyak.

Turbin uap bekerja pada kecepatan 3.600 atau 1.800 rpm, generator yang dapat dikopel adalah generator dengan rotor silindris, 2 kutub untuk 3.600 rpm atau 4 kutub 1.800 rpm. Turbin hidrolis yang biasanya beroperasi pada tekanan rendah, dan kecepatan rendah menggunakan generator type salient rotor dengan banyak kutub. Dalam sistem tenaga beberapa generator dioperasikan secara parallel untuk menyediakan permintaan beban yang dibutuhkan [1].

2.1.2 Transmisi dan Subtransmisi

Tujuan dari sebuah jaringan transmisi adalah untuk menyalurkan energi listrik dari unit-unit pembangkit yang tersebar menuju ke sistem distribusi yang akhirnya menyuplai beban.

Saluran transmisi tidak hanya menyalurkan energi listrik dalam keadaan normal,

tapi juga dalam keadaan darurat atau bila terjadi gangguan [1] Saluran transmisi yang menghubungkan jaringan tegangan tinggi melalui trafo step-down ke jaringan distribusi biasa disebut subtransmisi. Tidak ada perbedaan level tegangan antara jaringan transmisi dengan jaringan subtransmisi. Industri besar dapat disuplai langsung dari jaringan subtransmisi [1].

2.1.3 Distribusi

Sistem distribusi menghubungkan gardu induk distribusi ke konsumen. Besar tegangan saluran distribusi primer biasanya dalam rentang 4 – 34,5 kV, dan menyuplai beban dalam area tertentu. Beberapa industri kecil langsung mendapat suplai listrik dari feeder primer. Jaringan distribusi sekunder mengurangi nilai tegangan untuk penggunaan konsumen komersil maupun konsumen rumah tangga.

Panjang saluran dan kabel tidak boleh melebihi beberapa ratus meter dalam mengirimkan energi listrik. Distribusi sekunder menyuplai kebanyakan konsumen dengan level tegangan 240/120 V, fasa tunggal dengan tiga kawat; 208/120 V tiga fasa, empat kawat; 480/277 V, tiga fasa, empat kawat [1]. Berdasarkan letaknya, sistem distribusi dibagi menjadi 2 yaitu, Overhead dan Underground. Overhead berarti kabel atau kawat transmisi listrik disalurkan di udara atau di atas tanah. Sedangkan Underground berarti transmisi listrik terletak di bawah tanah [1].

2.1.4 Beban

Beban pada sistem tenaga modern dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu industri, komersil, dan rumah tangga. Beban industri yang sangat besar akan disuplai langsung dari jaringan, sedangkan beban industri kecil akan disuplai dari jaringan distribusi primer. Beban industri merupakan beban campuran, dan beban yang mendominasi adalah beban dari motor listrik. Beban campuran akan mempengaruhi nilai dari frekuensi tegangan dan nilai daya reaktif. Sedangkan beban komersial dan beban rumah tangga secara umum terdiri dari beban untuk pencahayaan, pemanasan, dan pendinginan. Beban-beban tersebut tidak mempengaruhi frekuensi dan nilai konsumsi daya reaktif. Daya nyata dinyatakan dalam satuan kilowatt atau megawatt, besarnya beban berbeda tiap waktu, dan daya yang dibangkitkan harus menyesuaikan dengan kebutuhan beban.

Kurva beban harian dari peralatan listrik merupakan beban komposit yang berasal dari penggunaan listrik yang berbeda. Beban terbesar yang terjadi selama periode 24 jam disebut dengan beban puncak atau permintaan maksimum. Generator dengan puncak yang lebih kecil digunakan untuk mendapatkan beban puncak yang

hanya terjadi dalam beberapa jam saja. Agar pembangkitan lebih efisien, maka faktor beban ditentukan. Faktor beban merupakan rasio dari nilai rata-rata beban dengan beban puncak selama periode tertentu. Faktor beban bisa didapat dalam periode waktu sehari, sebulan, bahkan setahun. Untuk faktor beban harian di rumuskan sebagai berikut:

$$\text{faktor beban harian} = \frac{\text{rata-rata beban}}{\text{beban puncak}} \quad (2.1)$$

Untuk mendapat faktor beban selama periode waktu 24 jam maka persamaan diatas menjadi :

$$\begin{aligned} \text{faktor beban harian} &= \frac{\text{rata-rata beban} \times 24 \text{ jam}}{\text{beban puncak} \times 24 \text{ jam}} \\ &= \frac{\text{konsumsi selama 24 jam}}{\text{beban puncak} \times 24 \text{ jam}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Untuk faktor beban selama setahun dinyatakan sebagai berikut :

$$\text{faktor beban tahunan} = \frac{\text{total energi tahunan}}{\text{beban puncak} \times 8760 \text{ jam}} \quad (2.3)$$

Secara umum pembangkit tenaga listrik yang beroperasi dengan efisiensi tinggi mempunyai faktor beban yang besar, nilai dari faktor beban berkisar antara 55 %-70 % [1].

2.2 Analisa Aliran Daya

Studi aliran daya biasanya ditunjukkan dengan aliran beban, yang merupakan dasar desain dan analisa sistem tenaga. Dalam studi aliran daya juga dibutuhkan perencanaan, operasi, serta penjadwalan pembangkit [1]. Selanjutnya studi aliran daya juga diperlukan dalam studi kontingensi dan stabilitas transient.

2.2.1 Persamaan Aliran Daya

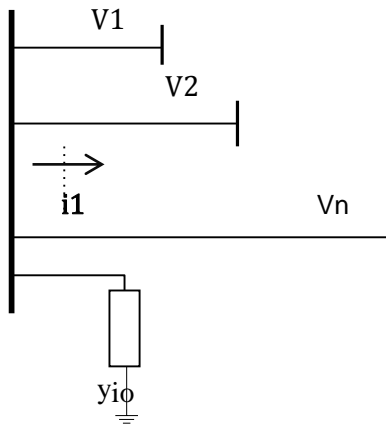
Berdasarkan tipikal bus dalam jaringan transmisi, ditunjukkan gambar 2.1, saluran transmisi mempunyai impedansi yang telah diubah menjadi admitansi untuk MVA base tertentu.

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0} \cdot V_i + y_{i1} \cdot V_i - V_1 + \dots + y_{iN} \cdot V_i - V_N \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + \dots + y_{iN}) \cdot V_i - y_{i1} \cdot V_1 - \dots - y_{iN} \cdot V_N \end{aligned} \quad (2.4)$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad j \neq i \quad (2.5)$$

V_i



Gambar 2.1 Tipikal bus pada jaring sistem tenaga listrik.

Daya nyata dan daya reaktif pada bus i adalah

$$P_i + Q_i = V_i \cdot I_i^* \quad (2.6)$$

$$I_i = \frac{P_{i-j}Q_i}{V_i^*} \quad (2.7)$$

dengan substitusi (2.5) ke (2.7), didapat

$$\frac{P_{i-j}Q_i}{V_i^*} = I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} \cdot V_j \quad (2.8)$$

Dari penjabaran di atas, perhitungan aliran daya menghasilkan persamaan aljabar nonlinier yang harus diselesaikan dengan teknik iterasi. Pada studi aliran daya, sistem diasumsikan pada kondisi seimbang dan digunakan pemodelan

menggunakan *single phase* serta ada empat variabel yang diperhitungkan pada tiap-tiap bus yaitu *voltage magnitude* $|V|$, *phase angle* (δ), *real power* (P), dan *reactive power* (Q). Sistem bus diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bus Slack / Swing

Bus ini digunakan sebagai referensi besar *magnitude* dan sudut fasa dari tegangan. Selain itu, bus *slack/swing* juga berfungsi menanggung kekurangan kebutuhan daya listrik karena rugi transmisi dan kekurangan daya listrik akibat perubahan beban serta kekurangan total daya output dari generator yang ada di sistem untuk memenuhi permintaan beban.

2. Bus Load (P-Q)

Pada bus P-Q besar daya aktif dan reaktif ditentukan. Besar *magnitude* dan sudut fasa tegangan tidak diketahui.

3. Bus *Regulated*/ Generator/ P-V/ *Voltage-controlled*

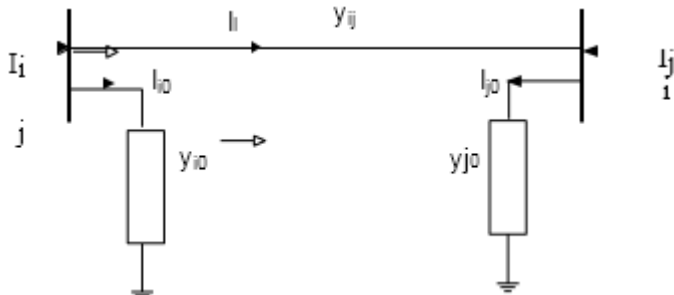
Pada bus P-V, besar daya aktif dan reaktif ditentukan. Batas dari daya reaktif yang dapat dibangkitkan juga ditentukan.

Pada tiap-tiap bus hanya ada dua macam nilai yang diketahui sebelumnya dan dua nilai yang lain merupakan hasil perhitungan dari studi aliran daya. Nilai-nilai tersebut adalah :

1. Bus *slack* : Nilai skalar dari tegangan $|V|$ dan sudut phasanya (θ).
2. Bus P-V : Nilai daya nyata (P) dan *magnitude* dari tegangan $|V|$.
3. Bus P-Q : Nilai daya nyata (P) dan daya reaktif (Q).

2.2.2 Rugi-rugi dan Aliran Daya

Setelah tegangan bus pada setiap bus diperoleh, langkah selanjutnya adalah perhitungan aliran daya dan rugi-rugi saluran. Ada beberapa teknik yang umum digunakan untuk menghitung rugi-rugi ini antara lain Gauss-Siedel, Newton Raphson, dan sebagainya.



Gambar 2.2 Pemodelan perhitungan rugi rugi jaringan transmisi.

Arus yang mengalir dari bus i ke bus j dapat ditulis sebagai berikut

$$I_i = I_l + I_{i0} = y_{ij} V_i - V_j + y_{i0}V_i \quad (2.9)$$

Dengan cara yang sama, arus yang mengalir berlawanan, atau dari bus j ke bus i adalah

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij} V_j - V_i + y_{j0}V_j \quad (2.10)$$

Setelah itu, maka perhitungan *losses* jaringan dapat dilakukan.

Daya total S_{ij} yang mengalir dari bus i ke bus j adalah

$$S_{ij} = V_i \cdot I_i^* \quad (2.11)$$

$$S_{ji} = V_j \cdot I_j^* \quad (2.12)$$

Rugi-rugi transmisi dari bus i ke bus j adalah penjumlahan aljabar dari aliran daya yang ditentukan dari persamaan (2.11) dan (2.12), hasilnya

$$S_{ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.13)$$

2.2.3 Aliran Daya Newton Raphson

Pada Tugas Akhir ini dipilih metode Newton-Raphson karena keunggulannya dibandingkan metode-metode lainnya [1]. Pada metode Newton Raphson. Penyelesaian analisis aliran daya diperlukan untuk mencari rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan 150 kV Jawa Timur. Penyelesaian aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson didasarkan pada:

Base daya= 1.00 MVA

Akurasi = 0,001

Maksimum iterasi = 50

Semua persamaan aliran daya dinyatakan dalam bentuk polar sehingga persamaan aliran daya dapat ditulis ulang sebagai berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.14)$$

Persamaan (3.1) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi,

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.15)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.16)$$

Persamaan (2.15) dan (2.16) dapat ditulis ulang dalam bentuk polar menjadi,

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.17)$$

Bagian real dan imajiner dipisahkan sehingga persamaannya menjadi

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_j) \quad (2.18)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_j + \delta_j) \quad (2.19)$$

dengan mengubah persamaan (3.5) dan (3.6) kedalam bentuk *Taylor series* diperoleh persamaan berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \partial \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \partial \delta_n^{(k)} \\ \partial [V_2]^{(k)} \\ \vdots \\ \partial [V_n]^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Persamaan dalam bentuk matriks (3.7) dapat ditulis sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Untuk elemen J_1

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.23)$$

Untuk elemen J_2

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.25)$$

Untuk elemen J_3

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.26)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.27)$$

Untuk elemen J_4

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ij}| \cos \theta_{ij} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = -|V_i||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.29)$$

$\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ adalah selisih antar nilai yang dimasukkan dengan nilai hasil kalkulasi serta disebut sebagai *power residual* :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.30)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.31)$$

Estimasi tegangan bus yang baru dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.32)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.33)$$

Proses iterasi akan berhenti jika persamaan berikut sudah terpenuhi,

$$|\Delta P_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.34)$$

$$|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (2.35)$$

Prosedur studi aliran daya dengan metode Newton Raphson diuraikan sebagai berikut :

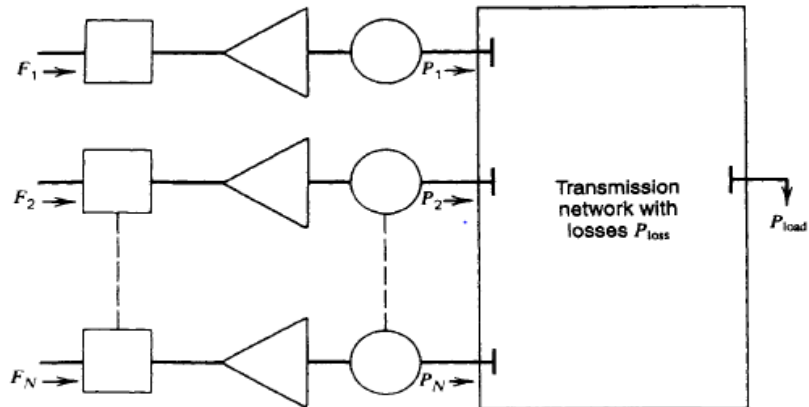
1. Pada bus yang berbeda dengan harga P_i^{sch} dan Q_i^{sch} ditentukan. Besar tegangan dan sudut fasa disamakan dengan nilai bus slack atau 1,0 dan 0,0, jadi $|V_i^{(0)}| = 1.0$ dan $\delta_i^{(0)} = 0.0$. untuk PQ bus Dengan $|V_i|$ dan P_i^{sch} ditentukan, dengan sudut fasa disamakan dengan sudut fasa bus slack, jadi $\delta_i^{(0)} = 0$

2. Hitung P_i^k dan Q_i^k pada bus berbeban (2.18) dan (2.19) , serta $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ dihitung pada persamaan (2.22) dan (2.23).
 3. Untuk bus PQ, P_i^k dan $\Delta P_i^{(k)}$ dihitung dengan persamaan (2.18) (2.24).
 4. Hitung elemen elemen matrik Jacobian (J_1, J_2, J_3 dan J_4) dengan persamaan (2.22-2.29).
 5. Persamaan linier simultan (2.21) dapat terselesaikan dengan mengoptimalkan susunan triangular factorization dan eliminasi gaus.
 6. Hitung harga harga baru dari sudut phasa dan tegangan $\delta_i^{(k+1)}$ dan $|V_i^{(k+1)}|$ dengan persaman (2.32-2.33).
- Proses ini berlangsung sampai persamaan (2.34-2.35) terpenuhi.

2.3 Economic Dispatch

Economic dispatch adalah pembagian pembebanan setiap unit pembangkit sehingga diperoleh kombinasi unit pembangkit yang dapat memenuhi kebutuhan beban dengan biaya yang optimum atau dengan kata lain, untuk mencari nilai optimum dari *output* daya dari kombinasi unit pembangkit yang bertujuan untuk meminimalkan total biaya pembangkitan besar beban pada suatu sistem tenaga listrik yang selalu berubah setiap periode waktu tertentu. Jadi untuk mensuplai beban secara ekonomis maka perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada setiap besar beban tersebut .

Dalam *economic dispatch* ada dua batasan yang harus dipertimbangkan dalam proses komputasinya yakni batas generator dan rugi-rugi transmisi. Pada sistem tenaga, kerugian transmisi merupakan kehilangan daya yang harus di tanggung oleh sistem pembangkit. Kerugian sistem transmisi ini merupakan tambahan beban bagi sistem tenaga. Jadi, untuk mensuplai beban secara ekonomis maka perhitungan *economic dispatch* dilakukan pada setiap besar beban tersebut. Perhitungan *economic dispatch* dengan tidak menghitung *losses* tidak dibahas pada tugas akhir ini. Perhitungan *economic dispatch* dengan menghitung rugi-rugi transmisi lebih optimal karena memperhitungkan daya total sebenarnya yang harus dibangkitkan oleh pembangkit dikarenakan adanya rugi-rugi daya, sehingga rincian biaya pembangkitannya semakin optimal. Pada pembahasan dengan kerugian transmisi [4].



Gambar 2.3 Sistem pembangkit melayani beban melalui rugi rugi transmisi.

Input dari unit ini ditujukan sebagai F_i mewakili biaya (*cost rate*) unit. *Ploss* merupakan kerugian transmisi. *Output* unit ini P_i adalah daya listrik yang dibagikan oleh unit pembangkit. Besarnya daya yang dibangkitkan oleh unit pembangkit akan mempengaruhi besarnya rugi transmisi. Rugi-rugi transmisi mempengaruhi nilai perhitungan *economic dispatch*. Pada tugas akhir ini rugi-rugi transmisi akan diperhitungkan sehingga perhitungan *economic dispatch* akan semakin optimal.

Salah satu penyelesaian persamaan *Economic Dispatch* adalah dengan cara pendekatan konvensional menggunakan persamaan *Lagrange multiplier*.

$$\mathcal{L} = Ft + (PD + P_{loss} - \sum P_i) \quad (2.1)$$

Dimana Ft adalah total biaya produksi dari seluruh unit pembangkit yang ada. Nilai minimum dari persamaan (2.1) akan didapatkan saat turunan parsial terhadap daya yang dibangkitkan sama dengan nol.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial P_i} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda} = 0 \quad (2.3)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.2) dengan persamaan (2.3) maka didapatkan persamaan :

$$\frac{\partial F_t}{\partial P_i} + \lambda \left(0 + \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} - 1 \right)$$

$$\lambda = \frac{\partial F_t}{\partial P_i} + \lambda \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_i} \quad (2.4)$$

Dengan menggabungkan persamaan (2.1) dengan persamaan (2.3) maka didapatkan persamaan:

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D + P_L \quad (2.5)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan *equality constrain*. *equality constrain* merupakan batasan yang mempresentasikan keseimbangan daya dalam sistem yaitu dimana jumlah daya pembangkitan sama dengan jumlah daya beban ditambah dengan besarnya daya *losses*.

Inequality Constrain merupakan batasan yang merepresentasikan kapasitas daya dari pembangkit.

Pada *Economic Dispatch* fungsi pertidaksamaan dinyatakan dalam persamaan (2.6) berikut.

$$P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)} \quad i = 1, \dots, n_g \quad (2.6)$$

Jika batasan *minimum* memiliki nilai seperti yang didapatkan pada persamaan (2.7) maka akan didapatkan solusi (2.8).

$$P_i \leq P_i \min \quad (2.7)$$

$$P_i = P_i \min \quad (2.8)$$

Jika batasan *maximum* memiliki nilai seperti yang didapatkan pada persamaan(2.9) maka akan didapatkan solusi (2.10).

$$P_i \geq P_i \max \quad (2.9)$$

$$P_i = P_i \max \quad (2.10)$$

2.4 Perhitungan Rugi – rugi Transmisi.

Perhitungan *Economic Dispatch* dengan menghitung rugi-rugi transmisi lebih optimal karena memperhitungkan daya total sebenarnya yang harus dibangkitkan oleh pembangkit dikarenakan adanya rugi-rugi transmisi sehingga rincian biaya pembangkit semakin optimal.

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j \quad (2.11)$$

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{n_g} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (2.12)$$

Dimana:

P_{gg} = Daya yang dibangkitkan oleh pembangkit

B_{ij}, B_{0i}, dan B₀₀ = matriks *Bloss*

2.5 Matriks *Bloss*

Matriks *Bloss* merupakan matriks yang digunakan untuk menghitung daya rugi-rugi transmisi (P_{loss}). Matriks *Bloss* dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Matriks B_{ij}. Matriks ini berukuran N x N bergantung dari jumlah N pembangkit. Contoh apabila ada 3 pembangkit maka matriks B_{ij} akan berukuran 3 x 3.

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

2. Matriks B_{0i}. Matriks ini akan berukuran 1 x N tergantung dari jumlah N pembangkit. Apabila ada 3 pembangkit maka matriks B_{0i} akan berukuran 3 x 1.

$$B_{0i} = \begin{bmatrix} B_{01} \\ B_{02} \\ B_{03} \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

- 3 B00. B00 bukan suatu matriks merupakan suatu nilai tersendiri yang termasuk ke dalam bentuk matriks *Bloss*.

$$B00 = a$$

Ketiga matriks *Bloss* diatas didapatkandari analisis aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik yang didalamnya terdapat data-data pembangkit, data saluran dan data beban. Analisis aliran daya tersebut yang digunakan pada tugas akhir ini menggunakan analisis Newton Raphson.