

SIMULASI DAN ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *ELECTRICAL TRANSIENT ANALYSER PROGRAM* (ETAP) VERSI 4.0

Rudi Salman¹⁾ Mustamam²⁾ Arwadi Sinuraya³⁾

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja (*performance*) sistem tenaga listrik yaitu aliran daya aktif maupun reaktif serta profil tegangan setiap bus dalam sistem. Simulasi aliran daya dilakukan menggunakan perangkat lunak *Electrical Transient Analyser Program* (ETAP) versi 4.0. Penelitian ini dilaksanakan di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro dengan objek penelitian adalah Sistem Tenaga Listrik di Sumatera Utara dan Aceh, yang memiliki 107 bus dan terdiri dari 1 bus referensi (*Swing Bus*), 12 bus generator (*Voltage Regulator Bus*) dan sisanya yaitu 94 bus adalah bus beban (*Load Bus*). Perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran daya aktif terbesar mengalir dari bus Tebing Tinggi ke bus Sei Rotan sebesar 133,04 (31,52%) MW dan aliran daya reaktif terbesar mengalir dari bus Belawan (*Swing/Reference bus*) ke bus Sei Rotan sebesar 66,80 (25,7%) MVAR. Total aliran daya aktif dan reaktif dalam sistem adalah 422,019 MW dan 259,93 MVAR. Sedangkan untuk profil tegangan bus, penurunan tegangan (*Voltage drop*) tertinggi terjadi pada bus 55 (bus beban Aek Knopan) sebesar 3,035% (19,393 KV) dari tegangan normal (20 KV) dan sebesar 149,773 KV (0,151%) untuk sistem 150 KV.

Kata kunci : Simulasi Aliran Daya, Profil Tegangan, ETAP 4.0, Losses, *Newton-Raphson*

Pendahuluan

Analisis aliran daya merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem dalam keadaan normal, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada. (Stevenson,1996; Saadat,1999 dan Cekmas,2004). Analisis ini meliputi penentuan besarnya nilai tegangan (V), daya aktif (P) dan reaktif (Q) dan sudut fasa (δ) setiap bus dalam sistem. Selanjutnya menurut Saadat (1999), bus dalam sistem tenaga listrik dapat dikelompokkan 3 jenis, yaitu :

1. Bus referensi (*Swing atau Slack bus*)

Bus ini berfungsi untuk mensuplai kekurangan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dalam sistem. Parameter atau besaran yang di tentukan adalah tegangan (V) dan sudut fasa (δ). Setiap sistem tenaga listrik hanya terdapat 1 bus referensi, yaitu bus yang didalamnya terdapat pembangkit atau generator yang memiliki kapasitas terbesar di antara pembangkit yang lain didalam sistem.

2. Bus generator (*Voltage Control Bus*)

Bus ini merupakan bus yang tegangannya dapat dikontrol melalui pengaturan daya reaktif agar tegangannya tetap. Parameter atau besaran yang diketahui adalah daya aktif (P) dan tegangan (V). Bus ini dinamakan PV bus.

3. Bus Beban (*Load bus*)

Bus ini adalah bus yang terhubung dengan beban sistem. Parameter atau besaran yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), maka bus ini di sebut juga PQ bus.

Sebelum analisis aliran daya dilakukan, komponen sistem yang terdiri dari pembangkit (generator), transformator, saluran transmisi dan beban harus di representasikan atau di modelkan melalui diagram satu garis (*oneline diagram*) dengan menganggap sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang. Diagram ini di maksudkan untuk memberikan gambaran secara ringkas suatu sistem tenaga listrik secara keseluruhan, dalam hal ini sistem tenaga listrik di Sumatera Utara. Untuk itu

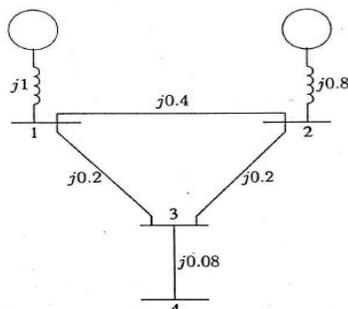
^{1,2,3} Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT Unimed

di butuhkan data-data yang terkait dengan komponen-komponen tersebut. Menurut Stevenson (1996), data-data yang dibutuhkan untuk analisis aliran daya adalah sebagai berikut :

- a. Data pembangkit (generator), yaitu kapasitas daya aktif (P) dalam satuan Megawatt (MW) dan reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan terminal (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi sinkron (X) dalam satuan Ohm (Ω).
- b. Data Transformator Daya, yaitu kapasitas tiap trafo dalam satuan Megavolt Ampere (MVA), tegangan (V) dalam satuan Kilovolt (KV) dan reaktansi bocor (X) dalam satuan Ohm (Ω).
- c. Data saluran transmisi, yaitu resistansi (R) dalam ohm (Ω) dan reaktansi (X) dalam ohm (Ω).
- d. Data beban, yaitu daya aktif (P) dalam Megawatt (MW) dan daya reaktif (Q) dalam satuan Megavolt Ampere (MVA).

Matrik Admitansi dan Impedansi Bus

Untuk menghitung dan menganalisis aliran daya, langkah awal yang dilakukan adalah membentuk matrik admitansi bus sistem tenaga listrik. Gambar 2.1 berikut ini merupakan sebuah contoh sistem tenaga listrik sederhana, dimana impedansinya dinyatakan dalam perunit pada dasar MVA dan resistansi diabaikan untuk penyederhanaan (Saadat,1999).

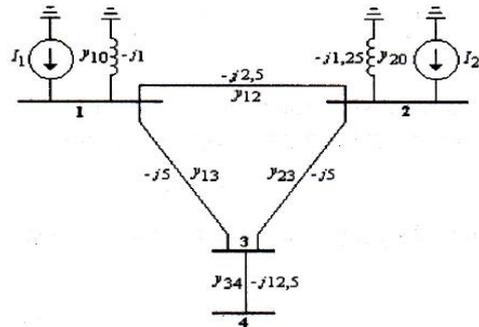


Gambar 2.1. Diagram Impedansi Pada Sistem Tenaga Listrik Sederhana

Berdasarkan Hukum Arus Kirchoff impedansi-impedansi pada gambar diatas dapat diubah ke bentuk admitansi-admitansi dengan menggunakan persamaan, berikut :

$$y_{ij} = \frac{1}{Z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \dots\dots\dots(1)$$

Selanjutnya gambar 2.1 tersebut di ubah menjadi :



Gambar 2.2. Diagram Admitansi Pada Sistem Tenaga Listrik Sederhana

Dari gambar 2.2 dapat diturunkan persamaan antara simpul-simpul akan menghasilkan persamaan arus :

$$I_1 = y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3) \dots\dots\dots(2)$$

$$I_2 = y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3) \dots\dots\dots(3)$$

$$0 = y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{34}(V_3 - V_4) \dots\dots\dots(4)$$

$$0 = y_{34}(V_4 - V_3) \dots\dots\dots(5)$$

Persamaan tersebut disusun kembali dan akan di peroleh :

$$I_1 = (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3 \dots\dots\dots(6)$$

$$I_2 = -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3 \dots\dots\dots(7)$$

$$0 = -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{34})V_3 - y_{34}V_4 \dots\dots\dots(8)$$

$$0 = -y_{34}V_3 + y_{34}V_4 \dots\dots\dots(9)$$

dengan :

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13} \dots\dots\dots(10)$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23} \dots\dots\dots(11)$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{34} \dots\dots\dots(12)$$

$$Y_{44} = y_{34} \dots\dots\dots(13)$$

$$Y_{12} = Y_{21} = -y_{12} \dots\dots\dots(14)$$

$$Y_{13} = Y_{31} = -y_{13} \dots\dots\dots(15)$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} \dots\dots\dots(16)$$

$$Y_{34} = Y_{43} = -y_{34} \dots\dots\dots(17)$$

Sehingga persamaan arus pada simpul menjadi :

$$I_1 = Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{14}V_4 \dots\dots\dots(18)$$

$$I_2 = Y_{12}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4 \dots\dots\dots(19)$$

$$I_3 = Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + Y_{34}V_4 \dots\dots\dots(20)$$

$$I_4 = Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 + Y_{44}V_4 \dots\dots\dots(21)$$

Untuk sistem tenaga listrik dengan jumlah n-bus, persamaan arus simpul dalam bentuk matrik dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{12} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(22)$$

atau

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \dots\dots\dots(23)$$

dengan I_{bus} adalah vektor arus bus yang diinjeksikan. Arus positif jika menuju bus dan negatif jika meninggalkan bus. V_{bus} adalah vektor tegangan bus yang diukur dari simpul referensi. Y_{bus} adalah matrik admitansi bus. Matrik ini di bentuk dari elemen diagonal masing-masing simpul dan diagonal antara simpul-simpul. Jika arus bus diketahui, persamaan (23) dapat diselesaikan untuk tegangan n-bus, yaitu :

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \dots\dots\dots(24)$$

Y_{bus}^{-1} adalah invers matrik admitansi bus atau lebih dikenal sebagai matrik impedansi bus (Z_{bus}).

Persamaan Aliran Daya

Jaringan sistem tenaga listrik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 saluran transmisinya dapat digambarkan dengan

model π yang impedansi-impedansinya sudah di ubah menjadi admitansi-admitansi perunit dengan dasar MVA. Penggunaan Hukum Arus Kirchoff pada bus ini diberikan dalam persamaan :

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \dots\dots\dots(25)$$

$$= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \dots\dots\dots(26)$$

atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \dots\dots\dots(27)$$

Daya aktif dan reaktif pada bus ke-i adalah :

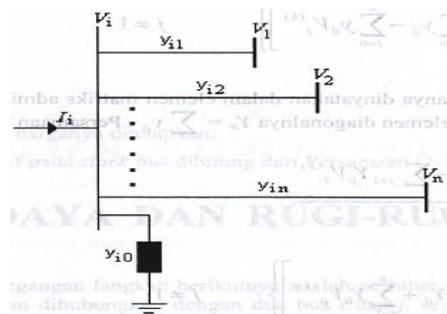
$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \dots\dots\dots(28)$$

atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \dots\dots\dots(29)$$

Substitusikan persamaan (29) ke persamaan (27), akan diperoleh :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \dots\dots\dots(30)$$



Gambar 2.3. Model bus sistem tenaga listrik sederhana

Metode Newton-Raphson untuk Perhitungan Aliran Daya

Pada dasarnya ada 3 metode yang sering digunakan untuk perhitungan aliran daya. Untuk sistem tenaga listrik yang berskala besar metode *Newton-Raphson* lebih efisien dan praktis, dimana jumlah

iterasi yang dibutuhkan untuk perhitungan lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode yang lainnya. Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar. Dari gambar 2.3 dapat ditulis persamaan :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots (31)$$

Persamaan diatas bila ditulis dalam bentuk Polar akan diperoleh seperti berikut :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots (32)$$

berikutnya daya kompleks pada bus *i* dapat ditulis :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \dots\dots\dots (33)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (32) ke persamaan (33), akan diperoleh persamaan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots (34)$$

Bagian riil dan imajiner persamaan (34) kemudian dipisahkan didapatkan :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots (35)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots (36)$$

Persamaan diatas dikembangkan dari deret Taylor seperti persamaan berikut ini :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (37)$$

Dalam hal ini dimisalkan bus 1 adalah bus referensi (*Swing bus*). Maka matrik Jacobian memberikan perbandingan linier antara perubahan pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta |V_i^{(k)}|$ dengan sedikit perubahan pada daya aktif ($\Delta P_i^{(k)}$) dan daya reaktif ($\Delta Q_i^{(k)}$) dalam bentuk yang mudah atau singkat dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \dots\dots\dots (38)$$

Banyaknya elemen matrik Jacobian persamaan (38) ditentukan dengan $(2n-2-2m) \times (2n-2-2m)$ dengan n adalah banyaknya bus pada sistem dan m adalah banyak bus pembangkit atau generator. J_1 diperoleh dari $(n-1) \times (n-1)$, J_2 diperoleh dari $(n-1) \times (n-1-m)$, J_3 diperoleh dari $(n-1-m) \times (n-1-m)$ dan J_4 di peroleh dari $(n-1-m) \times (n-1-m)$.

Sehingga elemen diagonal dan bukan diagonal untuk J_1 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots (39)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = - |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots j \neq i \dots\dots\dots (40)$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal untuk J_2 adalah :

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ii}|\cos\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (41)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (42)$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal untuk J_3 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (43)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (44)$$

Elemen diagonal dan bukan diagonal untuk J_4 adalah :

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ii}|\sin\theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (45)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (46)$$

Harga dari $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ berbeda antara yang terjadwal dengan nilai perhitungan dan ini disebut sisa daya yang diberikan dengan :

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (47)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (48)$$

Perhitungan untuk sudut fasa dan tegangan bus yang baru adalah :

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (49)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (50)$$

Langkah-langkah perhitungan aliran daya dengan metode *Newton-Raphson* adalah sebagai berikut :

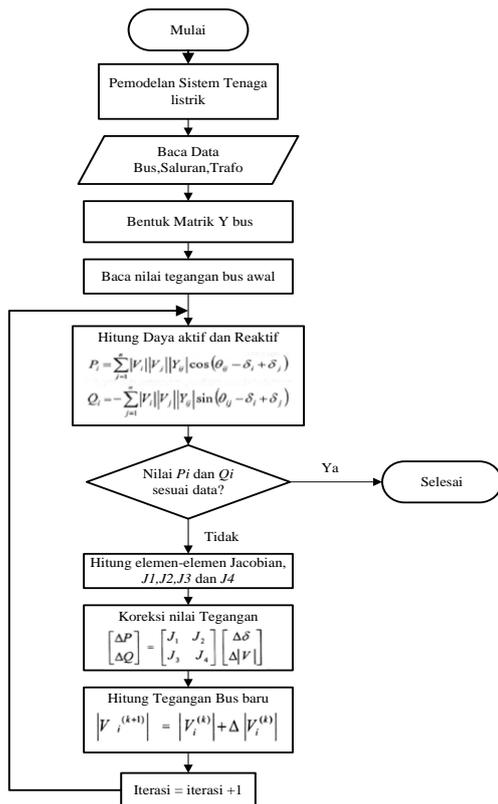
1. Pada bus berbeda dimana P_i^{sch} dan Q_i^{sch} harganya ditentukan. Besarnya tegangan dan sudut fasa disamakan dengan nilai bus referensi yaitu 1,0 dan 0,0, sehingga $|V_i^{(0)}| = 1,0$ dan $\delta_i^{(0)} = 0,0$. Untuk bus pembangkit dimana V_i dan P_i^{sch} diatur, sedangkan sudut fasa disamakan dengan sudut bus referensi, maka $\delta_i^{(0)} = 0$.
2. Hitung $P_i^{(k)}$ dan $Q_i^{(k)}$ pada bus beban menggunakan persamaan (35)(36), $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ dihitung dengan persamaan (49)(50).
3. Hitung $P_i^{(k)}$ dan $\Delta P_i^{(k)}$ pada bus pembangkit dengan persamaan (35)(36).
4. Hitung elemen-elemen matrik *Jacobian* J_1, J_2, J_3 dan J_4 dengan persamaan (39) sampai persamaan (46).
5. Hitung nilai $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V_i^{(k)}|$ menggunakan persamaan (38).
6. Hitung nilai-nilai baru dari sudut fasa dan tegangan, $\delta_i^{(k+1)}$ dan $|V_i^{(k+1)}|$ dengan persamaan (49) dan (50).
7. Proses ini berlangsung sampai : $|V_i^{(k+1)} - V_i^{(k)}| \leq \epsilon$

Metode Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahapan seperti berikut :

1. Pemodelan Sistem sistem tenaga listrik menggunakan Software ETAP 4.0
2. Menginputkan data, yaitu : data pembangkit, Trafo, Saluran transmisi, dan beban yang diperoleh dari UPB PT.PLN
3. Menghitung aliran daya dengan metode *Newton-Raphson*
4. Mengevaluasi aliran daya dan tegangan bus di setiap bus yang ada dalam sistem.

Berikut adalah diagram alir (*flowchart*) perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*.



Gambar 3.1. Diagram alir perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*

Hasil Penelitian

Hasil simulasi aliran daya menggunakan software ETAP 4.0 dapat dilihat bahwa :

Aliran daya aktif terbesar mengalir dari bus Tebing Tinggi ke bus Sei Rotan sebesar 133,04 MW dan daya reaktif sebesar 66,8 MVAR mengalir dari bus Belawan ke bus Sei Rotan (Tabel 4.1)

Dari Bus	Ke Bus	Aliran Daya		Arus (A)	Faktor Daya (%)
		Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)		
Blwn	Bnje	-23.53	24.05	129	-69.9
	Lbhn	13.60	8.64	62	84.4
	P.Pasir	-35.74	20.41	158	-86.8
	SRtan	-104.35	66.80	476	-84.2
	Prbngan	71.42	-28.38	296	-92.9

Tebing Tinggi	G.Para	-23.51	8.82	96	-93.6
	K.Tnjng	-50.87	18.70	208	-93.9
	SRtan	133.04	-62.91	567	-90.4
	P.Sntar	-57.59	10.66	225	-98.3
	Bus46	35.98	23.75	166	83.5

Tabel 4.1 Aliran Daya Aktif dan Reaktif

Sedangkan penurunan tegangan (*voltage drop*) terbesar terjadi pada bus Aek Knopan yaitu sebesar 3,035 % (0,61 KV) dari tegangan normal 20 KV menjadi 19,393 KV, untuk sistem 150 KV terjadi pada bus yang sama yaitu sebesar 0,151 % (0,23 KV) sehingga tegangan menjadi 149,773 KV. (Tabel 4.2).

Nama Bus	Teg. Bus (KV)	Hasil Perhitungan		Sudut Beban	Vd (%)
		Teg. (KV)	Teg. (%)		
Aek Knopan	150	149,773	99,85	0,3	0,151
Bus 55	20	19,393	96,97	-2	3,035

Tabel 4.2 Tegangan dan Sudut beban saat keadaan normal

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari simulasi aliran daya pada Sistem Tenaga Listrik di Sumatera Utara dan Aceh menggunakan perangkat lunak ETAP 4.0 sebagai berikut :

1. Daya Aktif terbesar mengalir dari bus Tebing Tinggi ke bus Sei Rotan sebesar 133,04 MW.
2. Daya Reaktif terbesar mengalir dari bus Belawan ke bus Sei Rotan sebesar 66,80 MVAR.
3. Penurunan tegangan (*Voltage Drop*) terbesar terjadi pada bus Aek Knopan yaitu sebesar 3,035% dari tegangan normal 20 KV (19,393 KV) untuk sistem 20 KV.

4. Sementara untuk sistem 150 KV, penurunan tegangan (*Voltage Drop*) sebesar 0,151% (149,773KV) terjadi pada bus yang sama.

Saran

1. Untuk mendapatkan aliran daya yang optimal maka hal yang perlu di perhatikan adalah profil tegangan setiap bus dalam sistem harus tetap berada dalam batas yang diizinkan yaitu dengan mengalokasikan sumber-sumber daya reaktif yang sesuai. Sumber-sumber daya reaktif misalnya : Generator dan transformator.
2. Hasil simulasi aliran daya ini dapat dikembangkan untuk simulasi dan analisis yang lain, seperti :
 - a. Analisa hubung singkat (*Short Circuit Analysis*)
 - b. Analisa Harmonisa (*Harmonic Analysis*)
 - c. Analisa Stabilitas Peralihan (*Transient-Stability Analysis*)
 - d. Analisa Aliran Daya Optimal (*Optimal Load Flow Analysis*)
 - e. dan lain-lain

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pihak pengelola PHKI Batch IV yang telah memberikan dukungan dalam bentuk dana hibah, sehingga terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Amin,N., 2011, Perbandingan metode *Gauss-Seidel* dan metode *Newton-Raphson* dalam solusi Aliran Daya, *Jurnal SMARTek*, Vol.9, No.3, hal. 212-222, Univ. Tadulako,Palu
- [2] Amirullah,2009, Analisis kontingensi tegangan bus dan daya saluran pada sistem Jamali 500 KV menggunakan metode Performansi Indeks, *Prosiding SENTIA*, Malang

[3] Cekmas,C, 2004, Sistem Tenaga Listrik, contoh soal dan penyelesaiannya menggunakan MATLAB, Penerbit Andi Yogyakarta

[5] Hartoyo, 2006, Perbaikan keandalan (N-1) Sistem tenaga Listrik PLN Jawa Tengah dan DIY, FT Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta

[6] Hosea,E dan Tanoto,Y., 2004, Perbandingan Analisa aliran daya dengan menggunakan metode Algoritma Genetik dan Metode *Newton-Raphson*, *Jurnal Teknik Elektro*, Vol.4,No.2, hal. 63-69

[7] Saadat,H.,1999, Power System Analysis, WCB McGraw-Hill Series In Electrical and Computer Engineering,Milwaukee School of Engineering, New-york

[8] Stagg, G.W. and El-Abiad, A.H., 1968, Computer Methods in Power System Analysis, Mc.Graw-Hill, New-york

[9] Stevenson,Jr.,W.D., 1996, Analisis sistem tenaga listrik, edisi ke-4. Terjemahan Kamal Idris, Penerbit Erlangga, Jakarta

[10] Syamsurijal, 2008, Aplikasi Power World Simulator pada Analisis kontingensi Sistem Tenaga Listrik, *Media Elektrik*, Vol.3,No.2.