

SIMULASI DAN ANALISIS LOAD FLOW SISTEM INTERKONEKSI KALIMANTAN TIMUR MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6

Bagus Tri Aribowo¹, Sabar setiawidayat², Mohammad Muksim³

¹Teknik Elektro, Universitas Widyagama, Malang

Email : bagustri605@gmail.com

²Teknik Elektro, Universitas Widyagama, Malang

Email : sabarset@widyagama.ac.id

³Teknik Elektro, Universitas Widyagama, Malang

Email : 07muhsin@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja 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 12.6. Penelitian ini dilaksanakan di jurusan pendidikan Teknik Elektro dengan objek penelitian adalah sistem interkoneksi PT.PLN (persero) Wilayah Kalimantan Timur dan Utara AP2B Sistem Kaltim, yang memiliki 162 bus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran daya aktif dan daya reaktif terbesar mengalir di bus 157 sebesar 26.083 MW dan 19.280 MVar. Total aliran daya aktif dan reaktif dalam sistem sebesar 1110.3 kW dan 2042.7 kVar, untuk profil tegangan bus, penurunan tegangan terbesar bus 20 kV terjadi pada bus 61 dan bus 62 sebesar 4.65% (0.93 kV) dan penurunan tegangan terbesar bus 150 kV terjadi pada bus 60 sebesar 2.6% (3.9 kV).

Kata kunci: Simulasi aliran daya, ETAP 12.6, Newton Raphson

Abstract

This study aims to determine the performance of electrical power systems, namely the flow of active or reactive power and voltage profile of each bus in the system. Power flow simulation is done using Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) version 12.6. The research was conducted in the Department of Electrical Engineering education with the object of research is the interconnection system of PT.PLN (Persero) East Kalimantan and North AP2B East Kalimantan System, which has 162 buses. The results showed that the active power flow and the greatest reactive power flowing on bus 157 were 26,083 MW and 19,280 MVar. The total active and reactive power flow in the system is 1110.3 kW and 2042.7 kVar, for the bus voltage profile, the largest bus drop voltage of 20 kV occurs at bus 61 and bus 62 of 4.65% (0.93 kV) and the largest drop of bus 150 kV occurs on the bus 60 by 2.6% (3.9 kV).

Keywords: load flow simulation, ETAP 12.6, Newton Raphson

PENDAHULUAN

Analisis aliran daya merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi sistem tenaga listrik, apakah masih dalam keadaan aman atau tidak, sehingga sangat dibutuhkan dalam perencanaan sistem untuk masa yang akan datang dan merupakan bahan evaluasi terhadap sistem yang ada (Idris dan

Stevenson Jr, 1996). Studi aliran daya di dalam sistem tenaga merupakan studi yang mengungkapkan kinerja dan aliran daya (*nyata dan reaktif*) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja saat tunak (*steady state*)(Dharamjit, 2012). Hasil perhitungan aliran daya digunakan juga sebagai data awal untuk analisis gangguan sistem, analisis stabilitas sistem(Rehiara dan Setiawidayat, 2014). Tujuan utama studi sistem daya adalah untuk menentukan magnitude tegangan, sudut/vektor tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif pada saluran, serta rugi-rugi daya yang muncul dalam suatu sistem tenaga listrik. Jadi pada setiap bus terdapat empat besaran yaitu P,Q,V dan δ . Di dalam studi aliran daya dua dari ke-empat besaran itu diketahui dan dua yang lain perlu dicari. Berdasarkan hal tersebut, bus-bus dibedakan menjadi tiga jenis yaitu bus beban (*load bus*), bus generator (*gen bus*), dan bus berayun (*slack bus*)(Grainger dan Stevenson, 1994).

Tabel 1. Klasifikasi bus pada sistem tenaga

Tipe bus	Besaran yang diketahui	Besaran yang tidak diketahui
Slack bus	$[V]=1,0; \delta=0$	P,Q
Gen bus	P, [V]	Q, δ
Load bus	P,Q	$[V], \delta$

a. Daya semu

Daya semu adalah daya yang lewat pada suatu saluran transmisi atau distribusi.

$$S = V \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

Maka daya semu untuk 3 fasa :

$$S_3 \phi = \sqrt{3} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

S = Daya semu (VA) V= Tegangan fasa netral (Volt)
I = Arus yang mengalir (A)

b. Daya aktif

Daya aktif adalah daya yang dipakai untuk keperluan menggerakkan mesin atau mekanik, dimana daya tersebut dapat diubah menjadi panas. Daya aktif ini merupakan pembentuk dari tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

Daya aktif satu fasa :

$$P1 \phi = V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (3)$$

Daya aktif tiga fasa

$$P3 \phi = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cos \phi \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

$\cos \phi$ = factor daya
P = Daya aktif (watt)

c. Daya reaktif

Daya reaktif adalah selisih antara daya semu yang masuk dalam saluran dengan daya aktif yang terpakai untuk daya mekanis panas. Daya reaktif untuk satu fasa :

$$Q_{1\phi} = V \cdot I \sin \phi \dots \dots \dots (5)$$

Daya reaktif untuk tiga fasa :

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3} V \cdot I \sin \phi \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

$$Q = \text{Daya reaktif (VAR)}$$

d. Rugi daya

Daya listrik yang di kirim dari sumber pembangkit listrik ke beban akan mengalami rugi-rugi, disamping rugi tegangan maka akan didapat pula rugi daya yaitu :

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R_{\text{efektif}} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

$$\Delta P = \text{Rugi-rugi daya (KW)}$$

$$I = \text{Arus yang mengalir (A)}$$

$$R_{\text{efektif}} = \text{Resistansi saluran efektif (Ohm/Km)}$$

Jika kerugian daya telah diperoleh maka besar presentase kerugian daya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\%P_{\text{loss}} = \frac{P_{\text{loss}}}{P} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

$$P_{\text{loss}} = \text{Rugi-rugi daya (Watt)}$$

$$P = \text{Besar daya yang disalurkan (Watt, KW, MW)}$$

e. Metode Newton Raphson untuk perhitungan aliran daya

Untuk menerapkan metode Newton Raphson pada penyelesaian aliran beban, kita dapat menyatakan tegangan rel (bus) dan admintansi saluran dalam bentuk polar atau bentuk siku-siku (Abokrishna et al., 2017). Misalkan kita akan menggunakan bentuk polar, maka kita dapat menguraikan persamaan berikut :

$$P_k - jQ_k = V_k \times \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \dots \dots \dots (9)$$

Ke dalam unsur nyata dan khayalnya, dimana :

$$P_k - jQ_k = |V_k| \angle \theta_k, V_n = |V_n| \angle \theta_n, Y_{kn} = |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} \dots \dots \dots (10)$$

Menjadi :

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k| |V_n| |Y_{kn}| \angle \theta_{kn} + \theta_n - \theta_k \dots \dots \dots (11)$$

Dari persamaan diatas dapat diuraikan menjadi :

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k - V_n| Y_{kn} \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \dots \dots \dots (12)$$

Dan,

$$Q_k = \sum_{n=1}^N |V_k - V_n| Y_{kn} \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \dots \dots \dots (13)$$

Seperti pada Metode Gauss Seidel, swing bus diabaikan dari penyelesaian iterasi dalam menentukan tegangan, sebab besar tegangan dan sudutnya telah ditentukan. Kita dapat menentukan nilai (P) dan (Q), dimana nilai konstan (P) dan (Q) yang ditetapkan adalah sesuaidengan konstanta (K) dalam persamaan (13)(Djalal dan M. Agil Haikal, 2014). Nilai perkiraan besar dan sudut tegangan bersesuaian pula dengan nilai perkiraan x_1 dan x_2 pada persamaan (13). Selanjutnya gunakan persamaan (12) dan (13), dan mendefinisikan :

$$\Delta P_k = P_{k,spec} - P_{k,calc} \dots \dots \dots (14)$$

$$\Delta Q_k = Q_{k,spec} - Q_{k,calc} \dots \dots \dots (15)$$

yang bersesuaian dengan nilai ΔK dari persamaan (14) subskrip (*spec*) berarti yang ditetapkan (*specified*) dan calc yang dihitung (*calculated*). Jacobian terdiri dari turunan persial (P) dan (Q) terhadap masing-masing variable dalam persamaan (12) dan (13). Unsur-unsur matriks kolom $\Delta \delta_k^{(n)}$ dan $\Delta |V_k|^{(0)}$ bersesuaian dengan $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$, merupakan nilai baru bagi perhitungan $\Delta P_k^{(1)}$ dan $\Delta Q_k^{(1)}$. Untuk penyederhanaan dapat dituliskan persamaan matriks untuk suatu sistem yag terdiri dari tiga buah bus. Jika bus-1 merupakan Swing bus, maka perhitungan dimulai pada bus-2. Berikut persamaan matriknya :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial P_3}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_3|} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_2|} & \frac{\partial Q_3}{\partial |V_3|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta V_2 \\ \Delta V_3 \end{bmatrix} \dots \dots \dots (16)$$

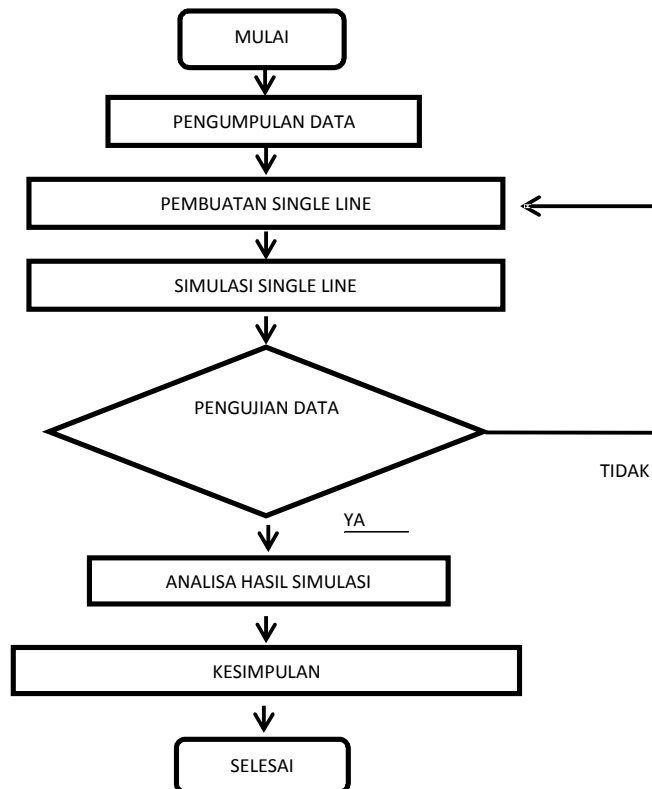
f. Program Electrical Transient Analyzer Power (ETAP)

Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) adalah suatu software yang comprehenshive untuk mendesain dan mensimulasikan suatu sistem rangkaian tenaga listrik. Menganalisa suatu rangkaian yang lengkap dan akurat, ETAP mengintegrasikan data-data rangkaian tenaga seperti kapasitas pembangkit, panjang jaringan, resistansi jaringan per-km, kapasitas busbar, rating transformator, impedansi urutan nol, positive dan negatif suatu peralatan listrik seperti transformator, generator dan penghantar (Ullah et al., 2017).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahapan seperti berikut :

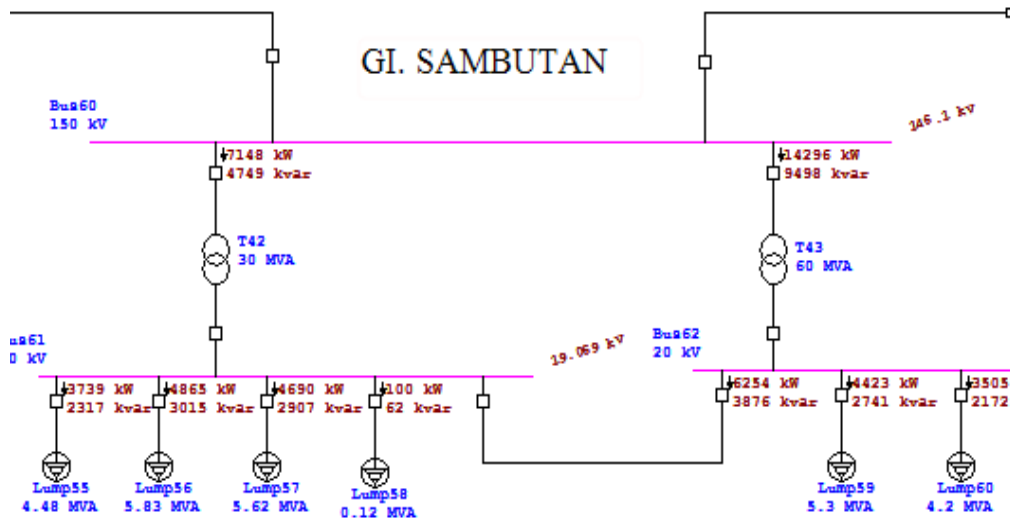
1. Pengumpulan data, yaitu data Pembangkit, Transformator, Saluran Transmisi, dan beban.
2. Pemodelan Sistem tenaga listrik menggunakan Software ETAP 12.6 dan memasukkan data, yaitu data Pembangkit, Transformator, Saluran Transmisi, dan beban.
3. Simulasi Single Line untuk mengetahui aliran daya pada Sistem Interkoneksi menggunakan metode Newton Raphson.
4. Pengujian data, hasil simulasi apakah sudah sesuai dengan standar yang telah ditentukan.
5. Analisa hasil simulasi, tahap terakhir dimana pengujian single line diagram sistem interkoneksi Kalimantan Timur, setelah dilakukan simulasi load flow.
6. Kesimpulan, hasil simulasi load flow sistem interkoneksi Kalimantan Timur menggunakan software ETAP 12.6.



Gambar 1. Flow chart diagram penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Load Flow diterapkan pada sistem interkoneksi Pembangkit di Kalimantan Timur sesuai dengan data pada tahun 2018 yang diperoleh dari PT.PLN (persero) Wilayah Kalimantan Timur dan Utara AP2B Sistem KalTim. Hasil simulasi single line diagram sistem interkoneksi Kalimantan Timur dapat di lihat pada gambar 2, dimana warna ungu menunjukkan bus dalam kondisi marginal (aman).



Gambar 2. Single line diagram sistem interkoneksi Kalimantan Timur

Tabel 2. Total losses tiap komponen sistem interkoneksi

Branch Losses Summary Report									
CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	% Drop in Vmag
T89	-3.476	-3.716	3.477	4.122	1.2	54.8	99.2	100.0	0.80
T90	-15.395	-3.980	15.490	3.771	95.0	142.5	99.2	100.0	0.80
T91	-15.395	-3.980	15.490	3.771	95.0	142.5	99.2	100.0	0.80
T92	-3.476	-3.716	3.477	4.122	1.2	54.8	99.2	100.0	0.80
T94	-3.476	-3.716	3.477	-0.512	1.2	54.8	99.2	100.0	0.80
T95	-15.395	-3.980	15.490	-1.025	95.0	142.5	99.2	100.0	0.80
T98	0.312	0.514	-0.312	-1.025	0.0	1.5	98.8	98.6	0.80
Total losses keseluruhan					1.110,3	2.042,7			

Tabel 2 menampilkan rugi-rugi daya yang terjadi pada tiap komponen, sistem mengalami total rugi-rugi daya aktif sebesar 1.110,3 kW, dan total rugi-rugi daya reaktif sebesar 2.042,7 kVar.

Tabel 3. Load flow report

Load Flow				
ID	MW	MVA _r	Amp	%PF
Bus24	11.059	6.739	51.1	85.4
Bus25	7.472	5.623	36.9	79.9
Bus26	7.472	5.623	36.9	79.9
Bus20	11.051	6.372	383.5	0.0
Bus22	26.035	17.089	936.3	83.6
Bus24	14.260	9.314	512.1	83.7
Bus23	26.035	17.089	936.3	936.3
Bus21	26.035	17.089	936.3	83.6
Bus157	26.083	19.280	124.8	80.4

Hasil simulasi load flow menggunakan software ETAP 12.6 pada tabel 3 menunjukkan, aliran daya aktif dan daya reaktif terbesar mengalir di bus 157 sebesar 26.083 MW dan 19.280 MVA_r. Dikarenakan daya yang masuk ke dalam saluran transmisi dan daya yang terpakai oleh beban terbesar terletak di bus 157.

Tabel 4. Bus drop

Bus ID	Nominal kV	Voltage	MW Loading
Bus49	150	97.81	0
Bus50	20	97.81	13.347
Bus51	150	97.92	24.968
Bus52	20	98.16	12.166
Bus53	20	98.16	12.166
Bus54	150	100	12.176
Bus55	20	97.25	4.868
Bus56	20	98.16	7.278
Bus57	150	98.66	23.659
Bus58	20	100	12.384
Bus59	20	100	6.192
Bus60	150	97.4	21.444
Bus61	20	95.35	13.394
Bus62	20	95.35	14.282
Bus63	150	97.69	7.189
Bus64	20	98	5.66
Bus65	20	98	12.754

Pada tabel 4, kolom tegangan yang berwarna ungu menandakan bus dalam kondisi marginal (amankondisi kritis), sedangkan yang tidak berwarna juga dalam batas aman. Tegangan terendah Bus yang diperoleh pada simulasi load flow menggunakan ETAP, untuk sistem 20 kV, penurunan tegangan terbesar terjadi pada bus 61 dan bus 62 sebesar 4.65% (0.93 kV) dari tegangan 20 kV. Untuk sistem 150 kV, penurunan tegangan terbesar terjadi pada bus 60 sebesar 2.6% (3.9 kV) dari tegangan 150 kV.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi load flow sistem interkoneksi Kalimantan Timur menggunakan software ETAP 12.6, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi menunjukkan aliran daya aktif dan daya reaktif terbesar mengalir di bus 157 sebesar 26.083 MW dan 19.280 MVar.
2. Penurunan tegangan terbesar bus 20 kV terjadi pada bus 61 dan bus 62 sebesar 4.65% (0.93 kV).
3. Penurunan tegangan terbesar bus 150 kV terjadi pada bus 60 sebesar 2.6% (3.9 kV).
4. Rugi-rugi daya yang terjadi pada tiap komponen, sistem mengalami total rugi-rugi daya aktif sebesar 1110.3 kW, dan total rugi-rugi daya reaktif sebesar 2042.7 kVar.

SARAN

1. Aliran daya yang optimal, didapatkan dari profil tegangan setiap bus dalam sistem harus tetap berada dalam batas yang di ijinakan yaitu dengan mengalokasikan sumber-sumber daya reaktif yang sesuai (transformator dan generator).
2. Pada penelitian selanjutnya bisa membahas tentang sistem proteksi pada jaringan interkoneksi Kalimantan Timur.

Daftar pustaka

- Abokrishna, M., Diaa, A., Selim, A., Kamel, S., 2017. Development of newton-raphson power-flow method based on second order multiplier. IEEE, pp. 976–980.
- Dharamjit, D.K.T., 2012. Load Flow Analysis on IEEE 30 bus System 2, 6.
- Djalal, M.R., M. Agil Haikal, 2014. Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulselrabar). Unpublished.
- Grainger, J.J., Stevenson, W.D., 1994. Power system analysis. New York McGraw-Hill.
- Idris, K., Stevenson Jr, W.D., 1996. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Erlangga Jkt.
- Rehiara, A.B., Setiawidayat, S., 2014. An Implemented Software for Transient Stability Analysis of SMIB Based on Runge- Kutta Method 6.
- Ullah, M.A., Qaiser, A., Saeed, Q., Abbasi, A.R., Ahmed, I., Soomro, A.Q., 2017. Load flow, voltage stability & short circuit analyses and remedies for a 1240 MW combined cycle power plant using ETAP. IEEE, pp. 1–6.