

STUDI PERHITUNGAN ALIRAN DAYA DI JAWA TENGAH BAGIAN UTARA MENGUNAKAN METODE NEWTON-RAPHSON

Sapto Nisworo

Dosen Program Studi Teknik Elektro FT UTM

Studi S3 Teknik Elektro UGM

ABSTRACT

Electrical power is a base for modern life. The availability of electrical power in high quantity and quality becomes a prerequisite for society and industry development to fulfill the need of electrical power of the consumers, the system of electrical power needs to be developed according to the increasing of the needs of the consumers. By increasing of electrical power need, the load of electrical power system will increase. The change of the load should be seen as soon as possible in order not to disturb the work of the system to know the change of the load, it needs to study load current.

The calculation of load current is done by using a computer program while the method used to calculate the load current is Newton-Raphson method. In finishing calculating using computer, it needs to know the equality of circuit of the electrical power system. Circuit parameters that should be known are voltage system, phase voltage angle, current, and complex load current.

From the table of data, the result of calculation of load current know that the number of iterasi to reach convergency.

The total loads that are used to produce the generator are $P = 425,871$ MW and $Q = 238,628$ MVAR. The load that is used by the generator is $P = 187,300$ MW, and $Q = 79$ MVAR while the total lose out of the current is $P = 238,571$ MW and $Q = 158,64$ MVAR.

Key Words : Newton-Raphson, load current

A. PENDAHULUAN

Dengan semakin meningkatnya pertumbuhan energi listrik, maka pengembangan energi untuk memperoleh kerja yang berguna merupakan kunci dari kemajuan teknologi yang penting untuk peningkatan taraf hidup yang berkesinambungan. Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik, daya yang mengalir pada saluran akan mengalami perubahan pula. Untuk mengetahui perubahan dan perencanaan daya listrik diperlukan studi perhitungan aliran daya.

Studi aliran daya adalah penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat dalam berbagai titik dalam suatu jaring listrik pada pengoperasian normal.

B. PEMBAHASAN

Sistem tenaga listrik khususnya dalam saluran transmisi, tegangan, arus dan daya selalu berubah-ubah. Perubahan ini seiring dengan perubahan beban pada saluran. Sistem daya merupakan interkoneksi dari tiga bagian utama, yaitu sistem pembangkitan, sistem penyaluran dan beban (Weedy, B.M., 1988, pp 109÷172), dengan perubahan beban, tegangan dan arus maka aliran daya yang mengalir pada jaring transmisi juga mengalami perubahan. (Marsudi, Djiteng, 1990, pp 4÷6).

Untuk mengetahui perubahan aliran daya ini, perlu diketahui besarnya tegangan dan sudut fasanya. (Weedy, B.M., 1988, pp : 268÷274), saluran transmisi tegangan tinggi yang dihubungkan dengan saluran sub transmisi akan membentuk jaring interkoneksi yang rumit. Jaring tersebut digunakan untuk mengirimkan tenaga listrik dari pusat pembangkit ke sumber-sumber beban. Untuk itu perlu dikaji parameter-parameter jaring, yang meliputi tegangan

sistem dan sudut fasanya, arus, dan aliran daya kompleks. (Deshpande, M.V., 1984, pp : 220÷230).

Untuk mendapatkan nilai yang mempunyai indek presisi tertentu atau mencapai nilai yang konvergen, perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan cara iterasi, yaitu metode coba-koreksi. (Sulasno, 1993, pp: 72÷73)

Beberapa metode perhitungan dengan komputer telah dikembangkan untuk membantu menyelesaikan masalah aliran daya pada sistem, sebagai perubahan beban dan jadwal pembangkitan. (Zuhal, 1992), metode Newton-Raphson merupakan pengembangan dari metode Gauss-Sedel. Metode Newton-Raphson dianggap efektif untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya pada jaring yang besar. (Saadat, Hadi, 1999, pp: 195-207)

Perubahan listrik dengan program komputer dibuat dengan teliti untuk melakukan studi aliran daya. Satu program sanggup menangani sistem dengan jaring yang banyak. (Stevenson, W.D., 1993, pp : 182÷194)

Daya listrik akan selalu mengalir menuju beban, karena itu dalam hal ini aliran daya juga merupakan aliran beban. Beban ini direpresentasikan sebagai impedans tetap (Z), daya tetap (S), tegangan (V) dan arus (I) yang tetap. Tetapi biasanya pembebanan dipilih menggunakan tegangan yang konstan.

Besarnya daya pada setiap simpul atau bus dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$S = S_G - S_L - S_T \dots \dots \dots (1)$$

keterangan :

S_G = sumber daya yang masuk ke bus

S_L = beban daya yang keluar dari bus

S_T = aliran daya yang ke luar dari bus

Dalam bentuk kompleks persamaan diatas dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} P + jQ &= (P_G + jQ_G) - (P_L + jQ_L) - (P_T + jQ_T) \\ &= (P_G - P_L - P_T) + j(Q_G - Q_L - Q_T) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

keterangan :

P adalah daya aktif

Q adalah daya reaktif

Daya yang mengalir pada setiap simpul atau bus juga dapat dihitung dengan persamaan :

$$S_T = V^* I \dots\dots\dots (3)$$

Bila nilai I adalah $\sum V Y_n$, maka

$$S_T = V^* \sum V Y_n$$

Tetapi $V^* I = P - jQ$

Maka daya aktif dan daya reaktifnya adalah :

$$P - jQ = V^* \sum V Y_n$$

$$P = \text{Re} \{ V^* \sum V Y_n \}$$

$$Q = \text{Im} \{ V^* \sum V Y_n \}$$

Perumusan yang sistematis dari persamaan yang ditentukan pada bus-bus rangkaian dengan menerapkan hukum kirchoff arus adalah dasar yang berguna untuk beberapa penyelesaian masalah sistem tenaga dengan komputer.

Persamaan jaring transmisi secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\sum I_k Z_{kn} = V_k \dots\dots\dots(4)$$

Bila dinyatakan dengan matrik adalah :

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & Z_{13} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & Z_{23} & \dots & Z_{2n} \\ Z_{31} & Z_{32} & Z_{33} & \dots & Z_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & Z_{n3} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix}$$

atau

$$[I] [Z] = [V]$$

▪ Tegangan dan daya pada bus

Untuk menghitung tegangan pada tiap bus dapat digunakan persamaan umum matrik impedans dan admitans. Dari persamaan tersebut diperoleh :

$$I_p = \sum_{q=1}^n V_p Y_{pq} \dots\dots\dots(5)$$

$$p=1,2,3,\dots,n$$

atau

$$I_p = \frac{P_p - jQ_p}{V^*} \dots\dots\dots(6)$$

Tegangan pada beban, bus P-Q

$$V_p = \frac{I}{Y_{pp}} \left(\frac{P_p - jQ_p}{V_p^*} \sum_{q=1}^n Y_{pq} V_q \right)$$

p = 1,2,3,...,n

.....(7)

▪ **Persamaan aliran daya**

Besaran aliran daya di setiap saluran transmisi beserta rugi-rugi dapat diketahui dengan menghitung dahulu besaran tegangan dan sudut fasa pada semua bus. Untuk mendapatkan penyelesaian aliran daya pada setiap simpul perlu diketahui dua parameternya. Tergantung pada parameter-parameter yang diketahui, maka setiap bus diklasifikasikan dalam tiga hal, meliputi bus beban (simpul PQ). Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan Q, parameter-parameter yang tidak diketahui adalah V dan δ , bus pembangkit (generator bus) atau simpul PV. Parameter-parameter yang diketahui adalah P dan V, pada bus ini mempunyai kendala untuk daya semu (Q) yang melalui bus, bila nilai dalam perhitungannya tak terpenuhi maka bus ini diganti menjadi bus beban, sebaliknya bila daya terpenuhi maka akan dihitung sebagai bus pembangkit kembali. V dan δ , dengan V dan δ selama perhitungan aliran daya akan tetap, dan Simpul ayun (swing atau slack bus/reverence) . Parameter-parameter yang diketahui adalah V dan δ . Simpul ayun selalu mempunyai generator. Dalam perhitungan aliran daya P dan Q pada simpul tidak dihitung. Guna simpul ini dalam perhitungan aliran daya adalah untuk memenuhi kekurangan daya (rugi-rugi dan beban) seluruhnya. Besarnya daya aktif dan reaktif dalam simpul ayun dapat diketahui setelah tegangan diketahui.

Besarnya daya pada setiap bus dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$S = S_G - S_L - S_T \dots\dots\dots(8)$$

keterangan :

S_G = sumber daya yang masuk ke bus

S_L = beban daya yang keluar dari bus

S_T = aliran daya yang ke luar dari bus

Dalam bentuk kompleks persamaan diatas dinyatakan dengan :

$$\begin{aligned} P + jQ &= (P_G + jQ_G) - (P_L + jQ_L) - (P_T + jQ_T) \\ &= (P_G - P_L - P_T) + j(Q_G - Q_L - Q_T) \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

Daya yang mengalir pada setiap bus juga dapat dihitung dengan persamaan :

$$S_T = V^* I$$

Maka daya aktif dan daya reaktifnya adalah :

$$P = \text{Re} \{ V^* \Sigma V Y_n \} \dots\dots\dots(10)$$

$$Q = \text{Im} \{ V^* \Sigma V Y_n \} \dots\dots\dots(11)$$

▪ Metode Newton-Raphson

Perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson dianggap efektif dan menguntungkan untuk sistem dengan jaring yang banyak. Metode Newton-Raphson dibentuk berdasarkan matriks admitans simpul (Y_{bus}) yang dapat dibuat

dengan prosedur langsung dan sederhana. Dasar matematik yang digunakan dalam metode ini adalah deret taylor. Dalam koordinat kutub dinyatakan :

$$\begin{aligned}
 S_p &= V_p Y_{pq} * V_q * \\
 &= \sum |V_p| e^{j\delta_p} |Y_{pq}| e^{-j\theta_{pq}} |V_q| e^{-j\delta_q} \\
 &= \sum V_p V_q Y_{pq} e^{j(\delta_p - \delta_q - \theta_{pq})} \\
 &= \sum V_p V_q Y_{pq} \cos j (\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \\
 &= \sum V_p V_q y_{pq} e \dots\dots\dots (12)
 \end{aligned}$$

sehingga daya aktif dan daya reaktifnya masing-masing bus adalah :

$$P_p = V_p^2 Y_{pp} \cos \theta_{pq} + \sum_{p \neq q} V_p V_q Y_{pq} \cos (\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots (13)$$

$$Q_p = -V_p^2 Y_{pp} \sin \theta_{pq} + \sum_{p \neq q} V_p V_q Y_{pq} \sin (\delta_p - \delta_q - \theta_{pq}) \dots\dots (14)$$

Dalam penyelesaian perhitungan aliran daya, persamaan aliran daya dinyatakan dalam bentuk polar (metode Newton-Raphson dengan koordinat kutub). Untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya, persamaan tegangan pada bus i dapat dinyatakan dalam bentuk polar :

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i = |V_i| (\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \dots\dots\dots (15)$$

Untuk bus ke j persamaan diatas dapat ditulis dengan mengganti indek i menjadi j, sedangkan arus yang mengalir pada saluran dapat ditulis :

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \dots\dots\dots(16)$$

Persamaan (3.2) dapat dinyatakan dalam bentuk polar :

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(13)$$

Daya yang mengalir pada saluran dinyatakan dengan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(17)$$

Persamaan (3.5) diatas dapat dipisah untuk bagian real dan imajiner,

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots(18)$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \dots\dots\dots(19)$$

Nilai dari P, Q, V dan δ dapat ditentukan pada tiap bus kecuali pada bus berayun. Perkiraan nilai ini digunakan untuk menghitung nilai P_k dan Q_k dan mendefinisikan :

$$\Delta P_k = P_{k \text{ spec}} - P_{k \text{ cal}} \dots\dots\dots(20)$$

$$\Delta Q_k = Q_{k \text{ spec}} - Q_{k \text{ cal}} \dots\dots\dots(21)$$

keterangan :

$P_k \text{ spec} / Q_k \text{ spec}$: daya aktif / reaktif yang ditetapkan

$P_k \text{ cal} / Q_k \text{ cal}$: daya aktif / reaktif yang dihitung.

Dari perkiraan nilai-nilai tersebut, dapat disusun matrik jacobian. Matriks jacobian terdiri dari turunan parsial P dan Q terhadap variabel tegangan dan sudut fasa. Pada persamaan matriks Jacobian terdapat unsur-unsur matriks kolom $\Delta \delta_k^{(0)}$ dan

$\Delta |V_k|^{(0)}$ yang merupakan nilai koreksi yang harus ditambahkan pada perkiraan semula ($\delta_k^{(0)}$ dan $|V_k|^{(0)}$) untuk mendapatkan nilai baru bagi perhitungan $\Delta P_k^{(1)}$ $\Delta Q_k^{(1)}$. tegangan dan sudut fasa yang ditentukan paling akhir, sehingga semua nilai ΔP dan ΔQ atau semua nilai $\Delta \delta$ dan $\Delta |V|$ lebih kecil dari nilai ketepatan yang telah dipilih.

▪ Program Perhitungan Aliran Daya

Urutan pembuatan program untuk penyelesaian perhitungan aliran daya ini adalah sebagai berikut:

- menentukan nilai P_{kcal} dan Q_{kcal} yang mengalir pada tiap bus. Untuk iterasi pertama nilai tegangan dan sudut fasa ditentukan, untuk iterasi selanjutnya nilai tegangan dan sudut fasa sesuai dengan hasil iterasi sebelumnya,
- hitung ΔP pada tiap bus,
- hitung nilai untuk jacobian dengan menggunakan nilai tegangan dan sudut fasa yang ditentukan dalam persamaan untuk turunan parsial yang ditentukan dengan persamaan diferensial,
- hitung invers jacobian dan koreksi tegangan pada tiap bus, dan
- kembali ke langkah satu dan ulangi proses iterasi dengan menggunakan nilai sebelumnya.

▪ Analisis Perhitungan

Data aliran daya dan rugi saluran adalah Sebagai berikut tabel 1

Saluran		Daya dan aliran daya		Rugi-rugi saluran			Trafo
Dari	Ke	MW	MVAR	MVA	MW	MVAR	Tap
1		-1049.130	655.070	1236.85			
	2	1.815	-67.744	67.786	0.335	-53.073	0.976
	3	-1050.940	721.666	1274.870	217.383	1181.040	
2		25,000	-124.918	127.395			
	1	-1.480	14.671	0.335	-53.073		
	6	26.480	-142.805	145.239	2.480	-153.510	0.978
3		1450	-291.525	1479.020			
	1	1268.327	459.370	1348.950	217.383	1181.040	
	7	121.683	-268.186	294.501	2.060	-28.195	
	5	68.606	-293.882	301.784	2.24	-237.030	
	10	-8.616	-188.826	189.022	0.596	-26.649	
4		-26,000	-13.000	29.069			
	8	-19.636	-22.025	29.507	0.719	-253.620	
	10	38.526	-6.601	39.088	5.924	-83.410	
5		-21.400	-9.000	23.216			
	4	44.966	-65.852	79.740	0.076	-60.227	
	3	-66.366	56.852	87.387	2.240	-237.03	
6		-24,000	-10.700	26.277			
	2	-24,000	-10.700	26.277	2.480	-153.51	
7		-37.300	-4.300	37.547			
	3	-119.622	239.991	268.152	2.060	-28.195	
	8	82.323	-244.291	257.789	1.203	-30.656	
8		-15.100	-7.900	17.042			
	7	-81.119	213.634	228.517	1.203	-30.565	
	4	20.356	-231.594	232.487	0.719	-253.62	
	9	45.664	10.060	46.759	0.425	-49.307	

9		-24.000	-12.600	27.106			
	8	-45.239	-59.367	74.939	0.425	-49.307	
	10	21.239	46.767	51.364	5.129	-57.100	
10		-39.500	-18.500	43.618			
	9	-16.11	-103.868	105.109	5.129	-57.100	
	4	-32.602	-76.809	83.442	5.942	-83.410	
	3	9.212	162.176	162.438	0.596	-26.649	
	Rugi total				238.571	158.264	

Tabel 2 dibawah ini adalah hasil perhitungan aliran daya dengan methode Newton-Raphson.

No. Bus	Mag. Tegangan	Derajat	Beban		Pembangkit		Pengisian
			MW	MVAR	MW	MVAR	
1	105.3	0	0	0	-1049.13	655.07	0
2	110.3	-51.4	0	0	25	-124.918	0
3	110.3	59.431	0	0	1450	-291.525	0
4	125.147	55.667	26	13	0	0	0
5	1124.472	56.309	21.4	9	0	0	0
6	122.482	-4.116	24	10.7	0	0	0
7	67.689	57.702	37.3	7.3	0	0	6
8	1.568	56.711	15.1	7.9	0	0	0
9	1.172	55.96	24	12.6	0	0	0
10	1.132	59.321	39.5	18.5	0	0	0
	Total		187.3	79	4425.871	238.871	6

Dari tabel 1 dapat diketahui magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan tiap-tiap bus, daya pada tiap bus beban dan daya yang dibangkitkan pada bus kontrol tegangan maupun pada slack bus. Sedangkan dari tabel 2 dapat diketahui daya yang mengalir pada tiap-tiap saluran dan rugi-rugi tiap saluran.

C. KESIMPULAN

Penggunaan metode Newton-Raphson dinilai lebih efektif dalam menyelesaikan perhitungan aliran daya pada jaring tenaga listrik yang kompleks. Dari tabel hasil perhitungan dapat diketahui bahwa total daya beban adalah 187.3 MW dan 79 MVAR. Total daya yang dibangkitkan adalah 425 MW dan 238.871 MVAR. Sedangkan rugi total pada saluran adalah 238.571 MW dan 158.264 MVAR.

DAFTAR PUSTAKA

- Benjamin, C.K, 1994, *Matlab Tools for Control System Analysis and Design*, Englewood Cliffs, New Jersey
- Deshfand, M.V, 1992, *Electrical Power System Design*, McGraw-Hill Book Co, New York, USA
- Haselman, D, Lifflefield, 1997, *Mastering Matlab*, Prentice-Hall, Upper Saddler River, New Jersey
- Hutauruk, T.S, 1990, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta, Indonesia
- JHA, R.S, 1997, *Power System Analysis & Stability*, Mc Graw-Hill Book Co, New York USA

Marsudi, D., 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Balai Penerbit dan Humas ISTN, Jakarta.

Stevenson, W.D, 1997, *Elements of Power System Analysis*, 4th Edition, Mc Graw-Hill Book Co, New York USA.

Weedy, B, M, 1978. *Sistem Tenaga Listrik*. Aksara Persada Indonesia, Jakarta.