



JURNAL AMPERE

VOL. 2 NO. 1
Januari - Juni 2017



ISSN : 2477-2755



Penerbit : Prodi Teknik Elektro Univ.PGRI Palembang

JURNAL AMPERE

Pelindung

Muhammad Firdaus (Univ. PGRI Palembang)

Pengarah

M. Saleh Al Amin (Univ. PGRI Palembang)

Adiguna (Univ. PGRI Palembang)

Aan Sefentry (Univ. PGRI Palembang)

Pimpinan Editorial

Emidiana (Univ. PGRI Palembang)

Dewan Editorial

Sabilal Rasyad (Politeknik Negeri Sriwijaya)

Nefo Alamsyah (Univ. Tridinanti Palembang)

M. Saleh Al Amin (Univ. PGRI Palembang)

Alimin Nurdin (Univ. PGRI Palembang)

Staff Editor

Nita Nurdiana (Univ. PGRI Palembang)

Endang Kurniawan (Univ. PGRI Palembang)

Alamat Redaksi :

Program Studi Teknik Elektro Universitas PGRI Palembang
Jalan Jend. A. Yani Lorong Gotong Royong 9/10 Ulu Palembang Sumatera Selatan
Telp. 0711-510043 Fax. 0711-514782 e-mail : ampere_pgri@yahoo.com

JURNAL AMPERE

Volume 2, Nomor 1, Januari – Juni 2017

DAFTAR ISI

Artikel Penelitian	Halaman
1. Studi Penerapan Over Load Shediing (OLS) Relay pada Sisi Sekunder Transfor mator Daya 20 MVa Penyulang Aries 20 KV di Gardu Induk Lahat, Dian Eka Putra, Andi Siahaan.....	1-11
2. Pengaruh Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah Terhadap Kinerja Alternator, Emidiana.....	12-18
3. Analisa Penurunan Faktor Kerja Transformator Daya 30 MVA, Irine Kartika Febrianti.,	19-22
4. Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 KV Gardu Induk Talang Ratu Palembang, Nita Nurdiana	23-30
5. Aplikasi Linier Programming Pada Sistim Optimasi Saluran Transmisi, Masayu Anisa, A.N Afandi, Sabilal Rasyad, Evelina, Taufik Roseno.....	31-38
6. Analisa Perkiraan Kemampuan Daya Yang dibutuhkan Untuk Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Surya Darma.....	39-53
7. Analisa Penghematan Konsumsi Energi Pada Sistem Pengkondisian Udara dan Sistem Penerangan di Area Produksi PT. Siwijaya Alam Segar Palembang, Dina Fitria, Yudi Irwansi, Yuwon.....	54--66
Petunjuk Untuk Penulisan	iii
Daftar Pustaka	iv



APLIKASI *LINEAR PROGRAMMING* PADA SISTEM OPTIMASI SALURAN TRANSMISI

Masayu Anisah¹⁾, A.N. Afandi²⁾, Sabilal Rasyad³⁾, Evelina⁴⁾, Taufik Roseno⁵⁾

^{1), 3), 4), 5)} Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jln. Srijaya Negara Bukit-Besar Palembang

e-mail : annisah05@yahoo.com

²⁾ Teknik Elektro, Universitas Negeri Malang

Jl. Kerto Asih Malang

e-mail : kein_aurok@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Metode Pemrograman Linear memiliki arti penting: kecepatan konversi, perhitungan efisiensi dan reliabilitas, kesederhanaan, eksekusi lebih cepat dan hasil yang akurat. Pada aplikasi on-line, pendekatan pemrograman linier dengan penggunaan jaringan dapat memberikan solusi untuk masalah penjadwalan ulang transmisi sistem tenaga listrik. Perumusan pemrograman linier pada jaringan berbasis kapasitas sistem transmisi didekati dengan mempertimbangkan tegangan pada bus bar dan fasa sudut. Pada analisis ini digunakan 6 bus bar untuk 11 baris. Dengan kondisi slack bus (1) memiliki nilai tegangan, load bus (4, 5 6) dengan nilai daya aktif dan beban reaktif, sedangkan generator bus (1,3) dengan nilai daya aktif pembangkitan dan voltase generasi. Berdasarkan hasil analisis tersebut, terdapat dua kondisi sistem transmisi yang tidak memenuhi kapasitas (yang diperbolehkan nominal current limited), yaitu transmisi yang menghubungkan antara bus 1-2 dan bus 2-4.

Kata kunci : busbar, magnetude, arus nominal, fungsi objektif

PENDAHULUAN

Suplai tenaga listrik melalui jaringan transmisi harus dapat mengendalikan perubahan beban yang terjadi setiap saat, agar daya *out put* yang keluar dari beberapa generator sama dengan besar beban yang tersambung pada sistem ditambah rugi-rugi pada jaringan transmisi. Hal ini sering terjadi karena bervariasinya beban dari waktu ke waktu dalam sehari.

Kesulitan lain pada pengoperasian suatu sistem tenaga listrik terjadi bila sistem tersebut terdiri dari berbagai tipe pembangkit tenaga listrik dan interkoneksi satu sama lain dengan suatu jaringan transmisi untuk mensuplai berbagai macam beban. Setiap penambahan atau pengurangan beban harus dilayani dengan memberikan ekstra daya atau pengurangan daya. Untuk melayani perubahan beban yang secara tiba-tiba dan rugi jaringan transmisi yang ditimbulkan, maka daya *output* tiap-tiap pembangkit harus diatur sedemikian rupa untuk mencapai harga minimum dan keandalan maksimum dengan menjaga kualitas suplai.

Peningkatan kebutuhan tenaga listrik membutuhkan jaringan transmisi yang memenuhi standar keamanan untuk menghindari pemadaman menyeluruh yang bisa terjadi apabila salah satu atau lebih dari jaringan transmisi tidak mampu menyalurkan daya. Sehingga perlu dilakukan operasi terhadap jaringan transmisi yang akan mengalami gangguan akibat beban lebih atau faktor lain yang menyebabkan rugi-rugi saluran, serta koreksi terhadap kapasitas pembangkitan.

Tujuan pembahasan ini adalah: menentukan saluran transmisi yang melebihi batas kapasitas

penyaluran atau saluran yang mengalami *overload*, untuk menganalisa optimasi jaringan transmisi yang melebihi batas kapasitas saluran dengan menggunakan metode *linear programming*, sehingga diperoleh harga penyaluran optimum untuk suatu jaringan transmisi.

Agar pembahasan mengenai pada sasaran, maka perlu pembatasan yang meliputi: tidak membahas penerapan pengamanan jaringan transmisi, tidak membahas faktor-faktor penyebab terjadinya gangguan, dalam perhitungan hanya dibatasi pada jaringan transmisi yang melebihi batas kapasitas, tidak menganalisa kelebihan kapasitas pada transformator dan tidak membahas segi ekonomis.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Secara umum pada jaringan yang mempunyai n simpul $(1,2,\dots,n)$ dapat dituliskan persamaan dasar untuk menentukan hubungan arus dan tegangan sebagai berikut:

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

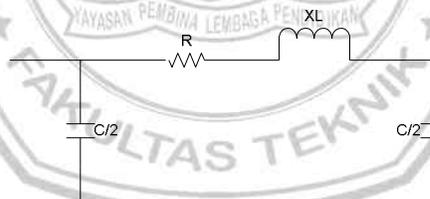
di mana pada persamaan tersebut I_i = arus masuk ke bus i , V_j = tegangan antara bus j dengan referensi, Y_{ij} = admitansi antara bus i dengan bus j .

Dalam bentuk matrik selanjutnya hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$[I] = [Y] \cdot [V] \quad (2)$$

Berdasarkan panjangnya, saluran transmisi tenaga listrik dibagi menjadi tiga jenis yaitu : saluran transmisi pendek (kurang dari 80 km), saluran transmisi menengah (antara 80 km dan 240 km), saluran transmisi panjang (lebih dari 240 km).

Untuk perhitungan analisa aliran daya parameter-parameter saluran yang ada yaitu: impedansi, reaktansi, kapasitansi, serta konduktansi. Pada saluran menengah didapatkan rangkaian ekuivalen jenis π . Nilai resistansi dan induktansi saluran masing-masing diwakili oleh satu nilai R dan X_L . Nilai kapasitansi ditempatkan pada dua sisi terminal saluran sebagai pengganti adanya arus bocor pada saluran, dan hal ini dapat terlihat seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen π saluran transmisi

Bila pada saluran terdapat trafo tenaga dan trafo geser saluran, maka nilai impedansi saluran akan berubah secara keseluruhan. Perubahan ini akan menimbulkan perubahan nilai pada matrik admitansi Y_{bus} .

Analisa Aliran daya

Penjelasan mengenai aliran daya yang terjadi dalam sistem sangat diperlukan untuk analisa sistem. Untuk mendapatkan gambaran mengenai analisa diperlukan suatu perhitungan aliran daya. Sedangkan perhitungan aliran daya diperlukan untuk mengetahui beban aktif dan reaktif yang berada pada simpul atau Gardu Induk. Selanjutnya aliran daya yang terjadi dapat ditentukan berdasarkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff.

Selanjutnya pada Metode Newton Raphson berawal dari suatu persamaan $Y = f(x)$, diambil nilai

x sebagai harga awal dari penyelesaian, sedangkan nilai Δx adalah koreksi yang dikehendaki. Penderetan dengan Teorema Taylor diperoleh :

$$f(x_0 + \Delta x) = f'(x_0) \Delta x + \frac{f''(x_0)}{2} (\Delta x)^2 + \dots (3)$$

Dimana pada persamaan tersebut $f'(x_0)$ derivatif tingkat pertama untuk $x = x_0$, $f''(x_0)$ derivatif tingkat kedua untuk $x = x_0$.

Jika nilai Δx kecil maka nilai $(\Delta x)^2$ dapat diabaikan, sehingga dapat dituliskan :

$$f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + f'(x_0) \Delta x \quad (4)$$

Bila dituliskan dalam fungsi y dan y suatu fungsi tidak linier maka persamaan tersebut dapat dituliskan:

$$\Delta y = \frac{dy}{dx_0} \Delta x \quad (5)$$

Bila fungsi y mempunyai n perubah, maka persamaan (2.33) dapat ditulis:

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (6)$$

Dimana nilai $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_n$ adalah nilai koreksi dari perubah-perubah x_1, x_2, \dots, x_n . Untuk sistem dengan dimensi n akan mempunyai n buah persamaan, dan dapat dituliskan dalam bentuk matrik sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} & \frac{\partial y_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial y_2}{\partial x_1} & \frac{\partial y_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_2}{\partial x_n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \frac{\partial y_n}{\partial x_1} & \frac{\partial y_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial y_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \Delta x_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

Linear Programming

Linear programming merupakan suatu model yang dapat digunakan untuk pemecahan masalah, pengalokasian sumber-sumber yang terbatas secara optimal. Jadi *Linear Programming* mencakup perencanaan kegiatan-kegiatan untuk mencapai hasil yang optimal, yaitu suatu hasil yang menjelaskan tercapainya sasaran tertentu yang paling baik diantara alternatif-alternatif yang mungkin, dengan menggunakan fungsi linear.

Model matematis perumusan masalah umumnya untuk berbagai kegiatan, disebut sebagai model *linear programming*. *Model Linear Programming ini* merupakan bentuk dan susunan dalam penyajian masalah-masalah yang akan diselesaikan. Dalam model *Linear Programming* dikenal dua macam fungsi, yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi batasan (*constraint function*), fungsi tujuan adalah fungsi yang menggambarkan tujuan atau sasaran di dalam permasalahan *Linear Programming* yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal suatu masalah, untuk memperoleh hasil maksimal atau minimal. Pada umumnya nilai yang akan dioptimalkan dinyatakan sebagai Z. Sedang fungsi batasan merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan-batasan kapasitas yang tersedia akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan.

Tabel 1. Penyusunan model *Linear Programming*

Kegiatan Sumber	Pmakain sbr per unit Kegiatan (Keluaran)					Kpsits Smb
	1	2	3	...	n	
1	a ₁₁	a ₁₂	a ₁₃	...	a _{1n}	b ₁
2	a ₂₁	a ₂₂	a ₂₃	...	a _{2n}	b ₂
3	a ₃₁	a ₃₂	a ₃₃	...	a _{3n}	b ₃
.
.
.
m	a _{m1}	a _{m2}	a _{m3}	...	a _{mn}	b _m
AZ pertmbhn tiap unit	C ₁	C ₂	C ₃	...	C _n	
Tkt kgiatn	X ₁	X ₂	X ₃	...	X _n	

Berdasarkan tabel 1 kemudian dapat disusun suatu model matematis yang digunakan untuk mengemukakan suatu permasalahan *Linear Programming* sebagai berikut:

Fungsi tujuan (maksimum atau minimum):

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n \quad (8)$$

Dengan batasan-batasan:

$$\begin{aligned} 1. & a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1 \\ 2. & a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2 \\ m. & a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m \end{aligned} \quad (9)$$

dan $X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$

Linear Programming Pada Optimasi Jaringan Transmisi

Dalam persoalan optimasi jaringan transmisi, penyelesaian *Linear Programming* pada jaringan transmisi ke k yang menghubungkan busbar i dan j, didapatkan rugi daya aktif sebagai berikut:

$$P_{1k} = P_{ij} + P_{ji} \quad (10)$$

Dimana: k = Saluran dari i ke j, P_{1k} = rugi daya aktif saluran transmisi yang ke-1, P_{ij} = aliran daya akti yang menghubungkan busbar i dan j, P_{ji} = aliran daya aktif yang menghubungkan busbarj dan i

Untuk melinearkan persamaan dalam sistem tenaga diasumsikan persamaan matematik tersebut dengan persamaan matematik sebagai berikut:

$$F = XY (A \sin \theta + B \cos \theta) \quad (11)$$

Formulasi *Linear Programming* dalam persoalan Optimasi Jaringan dibuat sebagaimana sebelumnya dalam bentuk batasan-batasan dan fungsi obyektif. Batasan yang digunakan berdasarkan besar bus bar dan jaringan transmisi.

$$Z = \sum C_j X_j \quad (12)$$

Sedangkan batasannya:

$$B_{ui} \geq \sum A_{ij} X_j \geq B_{li} \quad (13)$$

$$X_{uj} \geq X_j > X_{lj} \quad (14)$$

Dimana:

X_j = Variabel tak diketahui

B_{ij}, X_u = batas atas dan nilainya konstan

B_i, X_i = batas bawah dan nilainya konstan

C_j, A_{ij} = koefisien dari fungsi tujuan

Selanjutnya persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk umum sebagai berikut:

$$F_{yi} = F_{yi}(V + \theta) + K_{yj} \quad (15)$$

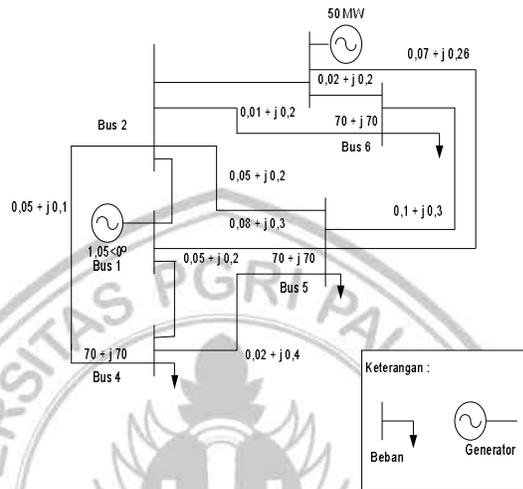
Dimana: F_{yi} = Fungsi yang ke-i

K_{yj} = Konstanta yang ke-i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Tenaga Listrik

Pada pembahasan ini sistem transmisi menggunakan 6 bus (referensi), dengan model jaringan seperti pada (gambar 1.) dan data-data saluran, serta data bus dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.



Gambar 1. Single line diagram sistem transmisi 6 busbar

Pada model jaringan tersebut terdapat 6 buah bus sistem, serta terdiri dari 2 buah generator

Tabel 2. Data saluran transmisi 6 busbar

No	Bus I	Bus J	R (pu)	X (pu)	Y/2 (pu)	Y (pu)	I _{max} (pu)
1.	1	2	0.10	0.20	0.02	5.00	0.3026
2.	1	4	0.05	0.20	0.02	5.00	0.5263
3.	1	5	0.08	0.30	0.03	3.33	0.4210
4.	2	3	0.08	0.25	0.03	4.00	0.0789
5.	2	4	0.05	0.10	0.01	10.0	0.3421
6.	2	5	0.05	0.30	0.02	3.33	0.4473
7.	2	6	0.10	0.20	0.03	5.00	0.3157
8.	3	5	0.07	0.26	0.03	3.85	0.1368
9.	3	6	0.02	0.10	0.01	10.0	0.4736
10.	4	5	0.20	0.40	0.04	2.50	0.1052
11.	5	6	0.10	0.30	0.03	3.33	0.0526

Sumber: John Wiley & Sons, 1984

Pada tabel 2 menunjukkan resistensi saluran (R), reaktansi saluran (X), *line charging* admitansi saluran (Y/2), admitansi saluran (Y), dan kapasitas maksimum arus yang dapat dialiri pada saluran (I_{max}), yang semuanya dalam satuan pu. Data-data ini akan digunakan pada perhitungan aliran daya dan perhitungan *linear programming*.

Tabel 3. Data busbar sistem 6 bus

Bus	Pembangkit		V (pu)	$\Theta(^{\circ})$	Beban	
	P (MW)	Q (Mvar)			P (MW)	Q (Mvar)
1.	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0
2.	50.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0
3.	60.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0
4.	0.0	0.0	0.00	0.0	70.0	70.0
5.	0.0	0.0	0.00	0.0	70.0	70.0
6.	0.0	0.0	0.00	0.0	70.0	70.0

Sumber: John Wiley & Sons, 1984

Pada tabel 3 menunjukkan kondisi bus sistem, pada bus slack (1) terdapat nilai tegangan, bus beban (4, 5, 6) dengan nilai daya aktif dan reaktif beban, sedangkan bus generator (1,3) dengan nilai daya aktif pembangkitan dan tegangan.

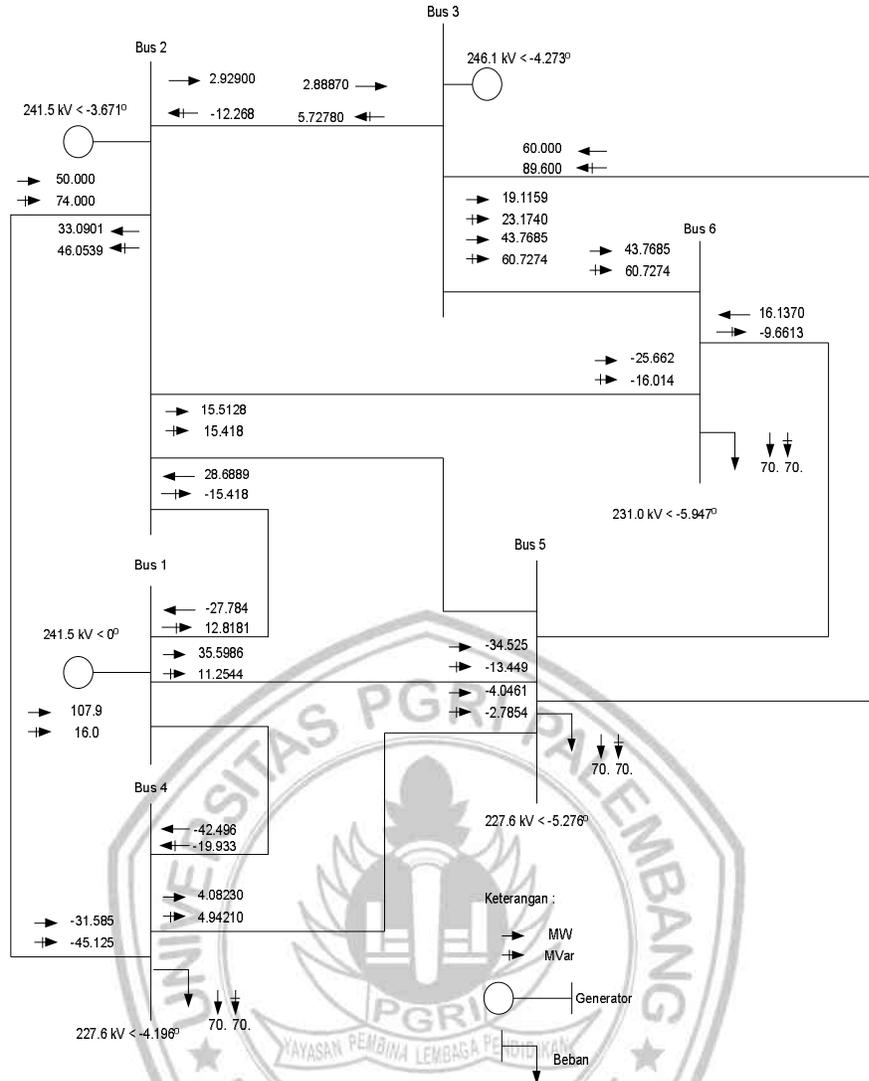
Perhitungan Optimasi Jaringan

Dengan menggunakan perhitungan aliran daya metode Newton Raphson, maka didapatkan aliran daya pada saluran transmisi sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan aliran daya sistem 6 bus

No	i	j	Aliran Daya		i	j	Aliran Daya	
			MW	Mvar			MW	Mvar
1.	1	2	286.9	-154.2	2	1	-277.8	128.2
2.	1	4	435.8	201.2	4	1	424.9	-199.3
3.	1	5	355.9	112.5	5	1	-345.3	-134.5
4.	2	3	2.9	-122.7	3	2	-28.9	57.3
5.	2	4	330.8	460.5	4	2	-315.9	451.3
6.	2	5	155.1	153.5	5	2	-150.2	-180.1
7.	2	6	262.5	124.0	6	2	256.6	-160.1
8.	3	5	191.2	231.7	5	3	-180.2	-260.9
9.	3	6	437.7	607.3	6	3	427.7	-578.7
10.	4	5	40.8	-49.4	5	4	40.5	-27.9
11.	5	6	16.1	-96.6	6	5	-15.7	38.7

Sumber: Analisa Data



Gambar 2. Aliran daya sistem 6 bus

Berdasarkan aliran daya dapat ditentukan besar rugi-rugi saluran yang akan digunakan dalam perhitungan batas rugi-rugi saluran pada *Linear Programming*. Sedangkan kondisi bus sistem dari tegangan *magnitude* dan sudut fasa hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil perhitungan tegangan dan sudut fasa

Bus	V hasil (pu)	θ hasil (pu)	Tipe
1	10.500	0.000	Slack
2	10.500	-3.671	P-V
3	10.700	4.273	P-V
4	0,9932	-4.196	P-Q
5	0.9724	-5.276	P-Q
6	10.037	-5.947	P-Q

Sumber: Analisa data

Tabel 5 menunjukkan nilai tegangan *magnitude* dan sudut fasa, yang dapat dipergunakan untuk menghitung arus yang mengalir pada saluran, dan menghitung nilai koefisien-koefisien persamaan *linear programming*. Hasil dari analisa tersebut seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan aliran arus pada sistem

No.	Bus I	Bus J	I (A)	J (A)
1.	1	2	1.187.947	115.00
2.	1	4	1.804.707	200.00
3.	1	5	1.474.063	160.00
4.	2	3	121.285	30.00
5.	2	4	1.280.947	125.00
6.	2	5	642.353	170.00
7.	2	6	1.086.772	120.00
8.	3	5	77,6753	90.00
9.	3	6	1.678.485	180.00
10.	4	5	179.398	40.00
11.	5	6	71.196	20.00

Sumber: Analisa data

Dari kondisi tersebut terdapat dua saluran transmisi yang tidak memenuhi kapasitas (arus nominal yang diijinkan) penyaluran, yaitu transmisi yang menghubungkan antara bus 1-2 dan 2-4, perbandingan antara arus maksimum saluran dengan arus yang mengalir pada saluran (I_{max}), ternyata pada saluran 1-2 dan 2-4 lebih besar, sehingga dinyatakan bahwa saluran tersebut melebihi batas kapasitas (*overload*).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan skripsi ini, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut: saluran transmisi yang melebihi batas kapasitas saluran (*overload*) yaitu saluran 1-2 dan 2-4, aliran arus pada tiap-tiap saluran dapat diminimisasi sebesar 9,7 %, optimasi jaringan dapat meminimasi rugi-rugi saluran sebesar 2,08132 MW atau 9,1%.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1984 "**Power Generation Operations and Control**", New York: John Wiley and Sons.
- B. Stott, and J.L. Marinho, 1979" **Linear Programming For Power-System Network Security Applications**", IEEE Transactions on Apparatus and Systems, Vol PAS-98, No.3 May/June.
- G.W. Stagg and A.H. El-Abiad, 1968 "**Computer Method In Power System Analysis**", Mc Graw Hill International Book Company.
- S. M. Chan, and E, Yip, 1979 "**A Solution Of The Transmission Limited Problem By Sparse Linear Programming**", IEEE, Transactions on Power Apparatus and system, Vol. Pas-98, No.3 may/June.
- Turan Gonan, 1990 "**Modern Power System Analysis**", California : John Wiley & Sons.