

foristek

JUDUL DI EDISI KALI INI

Aplikasi Op-Amp sebagai Rangkaian Pembanding (*Comparator*)

Irma Yulia Basri

Analisis Kemampuan Pembangkit Sistem Tenaga Listrik
Gorontalo Berdasarkan Simulasi Aliran Daya Menggunakan
Matlab

Ervan Hasan Harun

Metode Algoritma Genetika Untuk *Optimal Reactive Power
Dispatch* Pada Sistem TES 19 Bus

Wahri Sunanda

Sensor Mikrofon dan *Accelerometer* pada *Mechanomyogram*

Robinsar Parlindungan, YB. Gunawan Sudiarta, Dida Suhadi

Perancangan Rangkaian Kontrol dan Pembangunan Pembangkit
Tenaga Angin di Kabupaten Toli-Toli sebagai Solusi Kelangkaan
Energi Listrik

Mery Subito, Elimawaty Rombe, Agustinus Kali

Pembuatan Program Simulasi Perintah Dasar Jaringan Komputer
Menggunakan Delphi 7.0

Yuri Yudhaswana Joeffie

Rancang Bangun Prototip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
di Desa Pakuli kabupaten Sigi

Ahmad Antares Adam, Muh. Bachtiar, A.Y. Erwin Dodu



Jurnal Ilmiah

foristek

forum teknik elektro dan teknologi informasi

SUSUNAN REDAKSI JURNAL FORISTEK

Pengarah

Ir. Tadjuddin Hamdhany, M.T.

Pimpinan Redaksi

Yuli Asmi Rahman, S.T., M.Eng.

Sekretaris Redaksi

Yusuf Anshori, S.T., M.T.

Dewan Editor

Ir. Muh. Sarjan, M.T.

Ir. Tan Suryani Solliu, M.T.

Deny Wiria Nugraha, S.T., M.Eng.

Mitra Bestari:

Prof. Dr. Ir. Hamzah Hilal, M.Sc. (BPPT Jakarta)

Prof. Dr. Ir. Syamsir Abduh (Trisakti)

Dr. Ir. H. Andani Ahmad, M.T. (UNHAS)

Dr. Ir. Zahir Zainuddin , M.Sc. (UNHAS)

Redaksi Pelaksana

A.Y. Erwin Dodu S.T.,M.Eng.

Nurhani Amin, S.Pd.,M.T.

Yusnaini Arifin, S.T., M.T.

Yuri Yudhaswana Joeffie, S.T., M.T.

Alamat Redaksi

Laboratorium Studio Lt. 2

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNTAD

Palu, Sulawesi Tengah 94118

HP: 085241297776

email: jurnal.foristek@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Pembaca yang budiman,

Jurnal ilmiah FORISTAK Edisi Maret 2014 hadir kembali dengan tujuh naskah ilmiah bidang teknik elektro dan teknologi informasi sebagai media publikasi hasil penelitian dan kajian ilmiah bidang tersebut.

Edisi kedua kali ini memuat tulisan yang berkaitan dengan bidang teknik elektro dari segala konsentrasi. Dari bidang konsentrasi elektronika terdapat dua kajian dengan judul: Aplikasi Op- Amp. Sebagai Rangkaian Pembanding (*Comparator*) Dan Sensor Mikrofon dan Accelerometer pada Mechanomyogram . Di bidang energi terdapat judul Analisis kemampuan pembangkit sistem tenaga listrik Gorontalo berdasarkan Simulasi Aliran Daya menggunakan Matlab, Metode Algoritma Genetika untuk *Optimal Reactive Power* Dispatch pada sistem tes 19 bus dan Rancang Bangun Prototip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di desa Pakuli kabupaten Sigi . Di bidang kendali terdapat satu kajian dengan judul Perancangan rangkaian Kontrol dan pembangunan pembangkit tenaga angin di kabupaten Toli-toli sebagai solusi kelangkaan energi listrik. Bidang informatika terdapat satu judul juga yaitu Pembuatan program simulasi perintah dasar jaringan komputer menggunakan Delphi 7.0.

Akhir kata, kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penulis yang telah mengirimkan naskahnya dan mitra bestari yang telah menyumbangkan waktu dan pikiran demi saran-saran konstruktif untuk perbaikan kualitas naskah yang terbit kali ini. Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca sekalian dan memberikan kontribusi untuk perkembangan teknik elektro dan teknologi informasi.

Salam,

TIM REDAKSI FORISTEK

DAFTAR ISI

Susunan Redaksi / Pengantar Redaksi
Halaman I

Dafatar Isi
Halaman ii

Irma Yulia Basri
Aplikasi Op-Amp sebagai Rangkaian Pembanding (*Comparator*)
Halaman 316

Ervan Hasan Harun
Analisis Kemampuan Pembangkit Sistem Tenaga Listrik Gorontalo Berdasarkan Simulasi Aliran Daya Menggunakan Matlab
Halaman 323

Wahri Sunanda
Metode Algoritma Genetika Untuk *Optimal Reactive Power Dispatch* Pada Sistem TES 19 Bus
Halaman 334

Robinsar Parlindungan, Y.B. Gunawan Sudiarta, Dida Suhadi
Sensor Mikrofon dan Accelerometer pada *Mechanomyogram*
Halaman 340

Mery Subito, Elimawaty Rombe, Agustinus Kali
Perancangan Rangkaian Kontrol dan Pembangunan Pembangkit Tenaga Angin di Kabupaten Toli-Toli sebagai Solusi Kelangkaan Energi Listrik
Halaman 346

Yuri Yudhaswana Joeffie
Pembuatan Program Simulasi Perintah Dasar Jaringan Komputer Menggunakan Delphi 7.0
Halaman 351

Ahmad Antares Adam, Muh. Bachtiar, A.Y. Erwin Dodu
Rancang Bangun Prototip Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Desa Pakuli kabupaten Sigi
Halaman 358

ANALISIS KEMAMPUAN PEMBANGKIT SISTEM TENAGA LISTRIK GORONTALO BERDASARKAN SIMULASI ALIRAN DAYA MENGGUNAKAN MATLAB

Ervan Hasan Harun ¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo
email: ervanharun@ung.ac.id

Abstract - This study aims to create a computer program to analysis the ability of plants based on load flow analysis on power systems. MATLAB programming using Newton's method in solving flow-Rhapon load to evaluate the ability of each generating unit at the electric power system be the main focus of this study. The result showed that, the number of iterations to reach convergence is 2 – 8 iterations with an average power mismatch is 0.000698579. Based on the results of the power flow analysis, found that the status of the backup power system of Gorontalo until 2017 is a deficit with massive power deficit ranging between 2.91 MW – 24.5 MW.

Keywords: load flow, generating ability, Newton-Rhapon, MATLAB

I. PENDAHULUAN

Analisis aliran beban dibutuhkan untuk menentukan kondisi operasi sistem tenaga dalam keadaan mantap. Tujuan utama studi aliran beban adalah untuk menentukan magnitudo tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif, rugi-rugi transmisi dan juga kemampuan setiap unit pembangkit dalam memberikan suplai tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik Gorontalo merupakan sistem interkoneksi dengan sistem Sulawesi Utara yang terdiri atas berbagai pusat tenaga listrik yang terhubung melalui saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV.

Persoalan yang dihadapi oleh hampir semua sistem tenaga listrik saat ini adalah berkurangnya kemampuan sistem dalam memenuhi permintaan beban konsumen yang disebabkan oleh semakin berkurangnya sumber energi listrik, dan dilain pihak pertumbuhan beban semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi. Berbagai metode penelitian untuk mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik, antara lain: metode jaringan syaraf tiruan dan metode genetika yang digunakan dalam studi aliran beban.

Dalam rangka memenuhi pelayanan yang baik kepada konsumen, maka diperlukan evaluasi mengenai kemampuan setiap unit pembangkit yang ada berdasarkan kondisi beban sistem saat ini dan juga menggunakan prediksi beban yang akan terjadi pada masa-masa yang akan datang.

Hasil evaluasi kemudian digunakan untuk menjadi dasar dalam pengoperasian, perencanaan, maupun pengembangan unit-unit pembangkit di masa-masa yang akan datang.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana kemampuan setiap unit pembangkit yang ada di wilayah kerja PLN Cabang Gorontalo dalam memenuhi permintaan energi listrik berdasarkan kondisi beban yang tersambung pada sistem saat ini dan berdasarkan prediksi pertumbuhan beban di masa datang.

Sehubungan dengan permasalahan yang ada, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembangkit pada sistem tenaga listrik Gorontalo melalui simulasi aliran daya menggunakan MATLAB.

1.1 Studi Aliran Daya

Berbagai macam studi yang dilakukan pada sistem tenaga listrik bertujuan untuk meningkatkan unjuk kerja sistem. Salah satu studi pada sistem tenaga adalah studi aliran beban.

Saadat, (1999) menjelaskan bahwa studi aliran beban (*load flow*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal. Sedangkan menurut Gupta, (1998), selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, studi aliran beban juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada.

Aplikasi berbagai perangkat lunak dalam mengevaluasi kondisi sistem tenaga listrik saat ini sudah banyak dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan unjuk kerja dari perangkat lunak maupun metode yang digunakan di dalamnya. Salah satu perangkat lunak yang sering digunakan adalah program ETAP yang sudah dilengkapi dengan berbagai metode penyelesaian aliran beban.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh Harun, E & Yusuf, T. (2012), program ETAP dapat menyelesaikan analisis aliran beban pada sistem tenaga listrik. Pada penelitian ini, Harun, E & Yusuf, T. (2012) menganalisis aliran beban pada sistem tenaga listrik Gorontalo dalam kondisi interkoneksi dengan sistem Minahasa Sulawesi Utara maupun saat sistem tenaga listrik Gorontalo dalam keadaan isolated. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, terjadi perbaikan kondisi tegangan diberbagai bus (Gardu Induk) ketika sistem tenaga listrik Gorontalo dalam keadaan interkoneksi dengan sistem Minahasa Sulawesi Utara.

Simulasi mengenai aliran beban menggunakan program ETAP (*Electrical Analyzer Program*) pada sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi juga sudah pernah dilakukan oleh Wilhelmina (2008). Penelitian yang dilakukan oleh Wilhelmina ini adalah membandingkan aliran beban

pada sistem yang dipasang kapasitor bank dengan sistem tanpa kapasitor bank.

Amirulah, dkk (2008) telah melakukan penelitian untuk studi aliran beban pada kondisi kontengensi menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation* termodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Metode Jaringan Saraf Tiruan *Counterpropagation* termodifikasi lebih efektif dalam menentukan magnetudo dan sudut tegangan bus, dengan error pelatihan sudah memenuhi syarat yakni di bawah SEE sebesar 5%.

Penyelesaian masalah sistem tenaga listrik menggunakan metode Algoritma sudah sangat populer saat ini. Kelebihan penggunaan metode Algoritma Genetika ini adalah dalam mendapatkan penyelesaian yang optimal untuk suatu permasalahan dari sekumpulan kemungkinan penyelesaian. (Hosea, E & Tanoto, Y., 2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses komputasi menggunakan metode *Newton-Raphson* lebih cepat dibandingkan dengan waktu komputasi pada metode Algoritma Genetika untuk mencapai kriteria berhenti yang sama.

Pada penelitian kali ini, peneliti akan melakukan evaluasi mengenai kemampuan unit pembangkit pada sistem tenaga listrik Gorontalo berdasarkan hasil analisis aliran beban menggunakan metode *Newton-Raphson* dengan bantuan program MATLAB versi 2011b.

1.1 Parameter Sistem

William D., & Stevenson Jr. (1994) menjelaskan bahwa saluran transmisi tenaga listrik mempunyai empat parameter yang mempengaruhi kemampuannya untuk berfungsi sebagai bagian dari suatu sistem tenaga, yaitu: resistans, induktans, kapasitans, dan konduktans. Konduktans antar penghantar atau antar penghantar dengan tanah menyebabkan terjadinya arus bocor (*leakage current*) pada isolator saluran udara. Karena kebocoran pada isolator saluran udara sangat kecil sehingga dapat diabaikan, oleh karena itu untuk keperluan analisis, konduktans antar

penghantar pada saluran udara dianggap sama dengan nol. Resistans dan induktans dalam saluran transmisi membentuk impedans seri, sedangkan konduktans dan kapasitans yang terdapat di antara penghantar-penghantar dari suatu saluran fasa tunggal atau di antara sebuah penghantar dan netral suatu saluran tiga fasa membentuk admitans paralel.

1.2 Persamaan Aliran Daya

Dalam menyelesaikan analisis aliran daya, bus-bus dibagi dalam 3 (tiga) klasifikasi sebagai berikut (Saadat, 1999), (Momoh, 2001), dan (Powel, 2005):

1. Bus berayun (*swing bus*, yang sering juga disebut *floating bus*, *slack bus* atau bus referensi, dipilih di antara bus generator atau penyedia daya yang mempunyai kapasitas tertinggi di antara yang terpasang dalam jaringan yang ditinjau. Bus ini mempunyai besar tegangan dan nilai sudut fasa tertentu, biasanya diberikan nilai $1,06+j0,00$ pu. Bus berayun ini harus mampu membangkitkan daya aktif dan daya reaktif yang dibutuhkan untuk melayani bus beban dan mengimbangi rugi daya pada saluran.
2. Bus kontrol tegangan (*voltage controlled*) atau bus generator, yaitu bus yang mempunyai nilai tegangan dan daya reaktif tertentu. Tegangan pada bus ini dapat dikendalikan dengan mengatur daya reaktif yang disuplai atau diserap bus. Daya reaktif ini dispesifikasi dalam jangkauan batas minimum dan maksimum tertentu. Daya aktif dapat diatur untuk menjaga tegangan tertentu kecuali bila batas daya reaktif yang dispesifikasikan terlampaui. Jika batas ini terlampaui, maka daya reaktif ditetapkan pada batas tersebut dan tegangan akan diberikan pada nilai yang diperlukan untuk menyelesaikan persamaan aliran daya.
3. Bus beban (*load bus*), yaitu bus yang mempunyai nilai daya aktif dan daya reaktif tertentu yang diperoleh berdasarkan pengukuran pada saat tertentu. Nilai tegangan bus beban harus

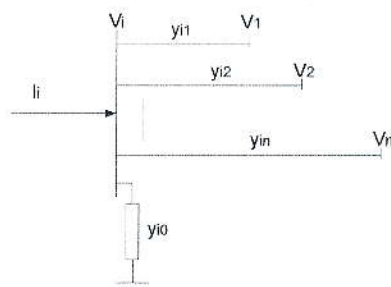
dicari melalui proses iterasi sampai tercapai nilai tertentu yang konvergen dengan toleransi ketelitian yang diinginkan.

Menurut Kundur (1993) selain ketiga klasifikasi tersebut, pada sistem tenaga listrik yang lebih maju, terdapat bus khusus; yakni *device bus*. Bus seperti ini dapat dijumpai pada sistem tenaga listrik yang memiliki peralatan konverter tegangan tinggi DC (*HVDC Converters*) dan terintegrasi dengan sistem AC.

Dengan mempertimbangkan jenis bus dari jaringan sistem tenaga seperti pada Gambar 1, saluran transmisi dapat digambarkan dengan model π ekuivalen dengan impedans telah diubah menjadi admitans per unit pada *base* MVA.

Daya aktif pada bus i adalah:

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



Gambar 1. Model bus Sistem Tenaga Listrik (sumber: Saadat, 1999)

Berdasarkan hubungan yang diberikan dalam persamaan (1) maka, perhitungan masalah aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan teknik iterasi. (Saadat, 1999).

1.3 Metode Newton-Rhapson

Teknik yang paling umum digunakan dalam menyelesaikan persamaan aljabar non linear secara iterasi adalah Metode Gauss-Seidel, Metode Newton-Rhapson, dan Metode Quasi-Newton.

Untuk sistem tenaga yang ditunjukkan pada Gambar 1, arus yang

masuk ke bus diberikan oleh persamaan dalam bentuk matriks admitans bus sebagai berikut (Saadat, 1999):

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

Dalam bentuk polar ditulis sebagai berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \angle \theta_{ij} + \delta_j$$

Daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i$$

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

Dengan memisahkan bagian riil dan imajiner diperoleh:

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad \dots(2)$$

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

...(3)

Persamaan P_i dan Q_i merupakan satu set persamaan aljabar nonlinier variabel bebas, besarnya tegangan per unit, dan sudut fase dalam radian. Linearisasi persamaan (2) dan (3) menggunakan deret Taylor dengan mengabaikan semua orde tinggi akan didapatkan satu set persamaan linear sebagai berikut:

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

Pada persamaan di atas, bus 1 diasumsikan sebagai slack bus. Matriks Jacobian memberikan hubungan linierisasi antara perubahan kecil dari sudut tegangan $\Delta \delta_i^k$ dan besarnya tegangan ΔV_i^k dengan perubahan kecil dalam daya nyata dan reaktif ΔP_i^k dan ΔQ_i^k . Elemen matriks Jacobian adalah turunan parsial dari persamaan P_i dan Q_i , dan dievaluasi pada $\Delta \delta_i^k$ dan ΔV_i^k . Dalam bentuk

yang singkat, dapat ditulis sebagai (Saadat, 1999):

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \quad \dots(4)$$

Pada bus kontrol tegangan, besaran tegangan diketahui. Karena itu, jika terdapat m bus dari sistem adalah bus kontrol tegangan, maka akan ada m persamaan menyangkut ΔQ dan ΔV dan kolom yang bersesuaian dari matriks Jacobian dieliminasi. Dengan demikian, ada $n-1$ kekangan daya nyata dan $n-1-m$ kekangan daya reaktif, dan matriks Jacobian akan mempunyai orde $(2n-2-m) \times (2n-2-n)$. J_1 adalah matrix dengan orde $(n-1) \times (n-1)$, J_2 adalah matriks dengan orde $(n-1) \times (n-1-m)$, J_3 adalah matriks dengan orde $(n-1-m) \times (n-1)$, dan J_4 adalah matriks dengan orde $(n-1-m) \times (n-1-m)$.

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari J_1 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} V_i V_j Y_{ij} \sin \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad \dots(5)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \sin \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad j \neq i \quad \dots(6)$$

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari J_2 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_i}{\partial V_i} &= 2 V_i Y_{ii} \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} V_i V_j Y_{ij} \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \\ &\dots(7) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = V_i Y_{ij} \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad j \neq i \quad \dots(8)$$

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari J_3 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} &= \sum_{j \neq i} V_i V_j Y_{ij} \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \\ &\dots(9) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -V_i V_j Y_{ij} \cos \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad j \neq i \quad \dots(10)$$

Elemen diagonal dan elemen bukan diagonal dari J_4 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} &= -2 V_i Y_{ii} \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} V_i V_j Y_{ij} \sin \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \\ &\dots(11) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial v_j} = -V_i Y_{ij} \sin \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad j \neq i \quad (12)$$

Notasi ΔP_i^k dan ΔQ_i^k adalah selisih antara nilai dijadwalkan dan nilai yang dihitung, dan dikenal sebagai selisih daya, yang dihitung dengan persamaan:

$$\Delta P_i^k = P_i^{jdw1} - P_i^k \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i^{jdwl} - Q_i^k \dots\dots\dots(14)$$

Nilai estimasi yang baru untuk tegangan bus diberikan dalam persamaan berikut (Saadat, 1999):

$$\delta_i^{k+1} = \delta_i^k + \Delta \delta_i^k \dots\dots\dots(15)$$

$$V_i^{k+1} = V_i^k + \Delta V_i^k \dots\dots\dots(16)$$

II. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan di bidang teknik elektro, yakni mengevaluasi kemampuan pembangkit pada sistem tenaga listrik Gorontalo berdasarkan hasil aliran daya menggunakan program MATLAB. Adapun metode yang digunakan dalam analisis aliran daya adalah metode *Newton-Rhapson*.

3.2. Lokasi Penelitian

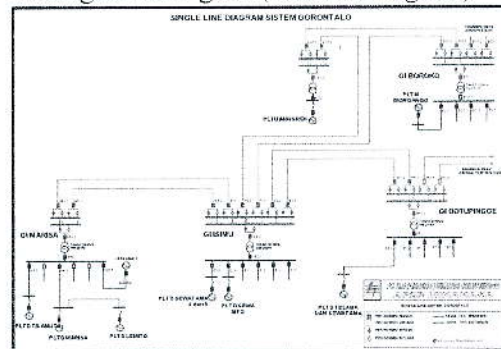
Lokasi penelitian adalah Sistem Tenaga Listrik Gorontalo yang merupakan wilayah kerja PT. PLN (Persero) Wilayah VII SULUTTENGGO Cabang Gorontalo.

3.3 Desain Penelitian

3.3.1 Data yang dibutuhkan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang ada pada sistem tenaga listrik Gorontalo. Sumber data adalah: PT. PLN (Persero) Wilayah SULUTTENGGO Cabang Gorontalo. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam analisis aliran daya adalah sebagai berikut:

1. Diagram satu garis (*one line diagram*)



Sumber: PLN Gorontalo (2013)

Gambar 2. Diagram satu garis sistem tenaga listrik Gorontalo

2. Kapasitas daya terpasang dalam (MW) dan daya mampu dari masing-masing pembangkit dalam satuan MW.

Tabel 1. Daya Terpasang (kW) dan Daya Mampu (kW) Sistem Gorontalo

Lokasi	Daya Terpasang (MW)	Daya Mampu (MW)
GI Botupingge		
PLTD Telaga	23,500	17,500
PLTD Sewa 1 Telaga	8,000	8,000
PLTD Sewa 3 Telaga	8,360	5,000
PLTM Taludaa	2,000	2,000
PLTU Molotabu	12,500	12,100
Total 1	54,360	44,600
GI Marisa		
PLTD Marisa	1,530	1,000
PLTD Tilamuta	1,650	1,120
PLTD Sewa Paguat	7,000	7,000
PLTD Lemito	0,775	0,775
Total 2	10,955	9,895
GI Isimu		
PLTD Sewa 4 Isimu	8,000	6,000
PLTD Sewa MFO Isimu	12,600	5,000
Total 3	20,600	11,000
GI Boroko		
PLTM Mongago	1,500	1,200
Total 4	1,500	1,200
Total Sistem	87,415	66,695

Sumber: PLN Gorontalo (2013)

diagram)



ris sistem
alo

alam (MW)
sing-masing

) dan Daya
ontalo

Daya
Mampu
(MW)

17,500

8,000

5,000

2,000

12,100

44,600

1,000

1,120

7,000

0,775

9,895

6,000

5,000

11,000

1,200

1,200

66,695

3)

3. Transformator.

Tabel 2. Data transformator disetiap Gardu Induk

Gardu Induk	Rated Power (MVA)	Rated Voltage (kV)
Isimu	30	20/150
Marisa	30	20/150
Botupingge	30	20/150
Boroko	20	20/150

Sumber: PLN Gorontalo (2013)

4. Penghantar

Tabel 3. Panjang saluran dan impedans penghantar

Rute Saluran	Panjang Saluran (km)	Impedans (ohm/km)	
		urutan positif	urutan nol
GI Isimu – GI Marisa	111,6	$0,118 + j 0,42$	$0,545 + j 1,639$
GI Isimu – GI Botupingge	36,97	$0,118 + j 0,42$	$0,545 + j 1,639$
GI Isimu – GI Boroko	57,00	$0,118 + j 0,42$	$0,545 + j 1,639$
GI Isimu – Anggrek	30,60	$0,118 + j 0,42$	$0,545 + j 1,639$
GI Boroko – GI Lolak	70,00	$0,118 + j 0,42$	$0,545 + j 1,639$

Sumber: PLN Gorontalo (2013)

5. Beban Sistem

Tabel 4. Beban di setiap Gardu Induk

Gardu Induk	MW	MVA	%
Isimu	13,02	15,32	25,94
Botupingge	24,39	28,69	48,60
Marisa	10,98	12,92	21,88
Buroko	1,8	2,12	3,59
Total Beban Sistem	50,19	59,05	100

Sumber: PLN Gorontalo (2013)

3.3.2 Teknik Pengumpulan Data

Semua data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh melalui pengambilan data di 4 (empat) lokasi Gardu Induk yang ada pada sistem tenaga listrik Gorontalo, yakni:

1. Gardu Induk Isimu, di Kabupaten Gorontalo
2. Gardu Induk Boroko, di Kabupaten Bolmong Utara

3. Gardu Induk Marisa, di Kabupaten Pohuwato

4. Gardu Induk Botupingge, di Kabupaten Bone Bolango

3.3.3 Teknik Analisis Data

Data-data yang didapatkan dari lapangan masih berupa data mentah. Oleh karena itu dilakukan perhitungan manual untuk mendapatkan nilai parameter sistem yang akan menjadi input pada program MATLAB.

3.3.4 Algoritma Penyelesaian Aliran Daya

Berdasarkan persamaan-persamaan yang sudah dijelaskan pada Bab II, dapat dibuat langkah-langkah penyelesaian aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson sebagai berikut:

1. Untuk bus beban, dimana P_i^{jdw} dan Q_i^{jdw} harus ditentukan, besarnya tegangan dan sudut fase ditetapkan sama dengan nilai pada slack bus atau 1,0 dan 0,0. $V_i^0 = 1,0$ dan $\delta_i^0 = 0,0$. Untuk bus kontrol tegangan, dimana V_i dan P_i^{jdw} harus ditentukan, sudut fase ditetapkan sama dengan sudut bus slack atau $0, \delta_i^0 = 0,0$
2. Untuk bus beban, P_i^k dan Q_i^k dihitung dari persamaan (2) dan (3), dan untuk ΔP_i^k dan ΔQ_i^k dihitung dari (13) dan (14)
3. Untuk bus kontrol tegangan P_i^k dan ΔP_i^k berturut-turut dihitung dengan persamaan (2) dan (15)
4. Elemen-elemen dari matriks Jacobian ($J1, J2, J3$ dan $J4$) dihitung dengan persamaan (5) sampai dengan (12)
5. Persamaan linear simultan (4) diselesaikan secara langsung dengan faktorisasi segitiga optimal dan eliminasi Gauss.
6. Besaran tegangan dan sudut fasa yang baru dihitung menggunakan persamaan (15) dan (16)
7. Proses ini dilanjutkan sampai nilai ΔP_i^k dan ΔQ_i^k kurang dari akurasi tertentu.

$$\Delta P_i^k \leq \epsilon \text{ dan } \Delta Q_i^k \leq \epsilon$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tahapan penyelesaian Aliran Daya

3.1.1. Input Data Sistem

1. Data Bus (*busdata*)

Format isian bus data dipilih untuk memfasilitasi kebutuhan data setiap bus dalam satu baris. Informasi yang dibutuhkan dimasukkan dalam bentuk matriks dan diberi nama *busdata*. Kolom 1 berisi nomor bus, kolom 2 berisi kode bus. Kolom 3 dan 4 berisi besar tegangan dan sudut phasa. Kolom 5 dan 6 berisi data beban dalam MW dan Mvar. Kolom 7 s/d 10 berturut-turut dimasukkan data MW, Mvar, minimum dan maksimum Mvar yang dibangkitkan.

Kode bus yang dimasukkan pada kolom 2 digunakan untuk mengidentifikasi bus beban, bus kontrol tegangan, dan *slack* bus, sebagai berikut:

Kode 1 : digunakan untuk mengidentifikasi bus yang berfungsi sebagai *slack* bus..

Kode 0 : digunakan untuk mengidentifikasi bus-bus beban.

Kode 2 : digunakan untuk mengidentifikasi bus kontrol tegangan.

Pada penelitian ini, bus Gardu Induk Lolak Sistem Minahasa – Kotamobagu diberi kode 1 (satu) sebagai *slack bus*, bus di Gardu Induk Marisa dan Gardu Induk Buroko diberi kode 0 (nol) sebagai bus beban, selanjutnya bus di Gardu Induk Isimu dan Gardu Induk Botupingge diberi kode 2 (dua) sebagai bus kontrol tegangan.

2. Data saluran (*linedata*)

Saluran diidentifikasi dengan metode pasangan simpul. Informasi yang dibutuhkan diberikan dalam bentuk matriks dan diberi nama *linedata*. Kolom 1 dan kolom 2 adalah nomor bus. Kolom 3 s/d kolom 5 berturut-turut adalah data resistans saluran, reaktans saluran, dan setengah dari total suseptans dalam kuantitas per unit

pada MVA base yang sudah ditentukan yakni 100 MVA. Kolom terakhir berisi informasi mengenai *setting* tap transformator. Untuk saluran, dimasukkan nilai 1 pada kolom ini.

3.1.2. Kompilasi Program

1. Input data sistem

Data sistem berupa data bus dan saluran dimasukkan dalam bentuk matriks mengikuti format yang sudah dijelaskan pada point 1 dan 2. Data sistem ini kemudian disimpan dengan nama file: *datasistem.m*.

Pastikan bahwa file ini harus berada dalam satu folder yang sama dengan program utama.

2. Program menyusun Matriks Admitans Bus. Matriks admitans bus disusun berdasarkan jumlah bus yang diperoleh dari matriks *linedata*. Program ini berisi:

- Perhitungan admitans cabang/saluran
- Inisialisasi matriks **Ybus** ke matriks **NOL**

Program ini kemudian disimpan dengan nama *busadmitans.m*. Pastikan file *busadmitans.m* disimpan dalam folder yang sama untuk menyimpan file program utama

3. Program Aliran daya menggunakan Newton – Rhapson :

Program ini diawali dengan tahap pembacaan elemen-elemen matriks *busdata* untuk mendapatkan nilai-nilai tegangan, sudut fasa, beban Pd dan Qd, daya pembangkitan Pg dan Qg, nilai minimum dan maksimum dari Q. Program ini kemudian disimpan dengan nama *alirandaya.m*

4. Program untuk menampilkan hasil aliran daya dalam bentuk tabulasi pada layar. Program ini disimpan dengan nama *output.m*

5. Program Utama

Program utama diberi disimpan dengan nama file *alirdayaNR.m*. Adapun data yang harus diinputkan adalah: daya dasar, akurasi, percepatan konvergen, maksimum iterasi, dan

ditentukan
akhir berisi
ting tap
dimasukkan

a bus dan
am bentuk
yang sudah
dan 2. Data
npan dengan

harus berada
ama dengan

ks Admitans
bus disusun
bus yang
ts linedata.

admitans

us ke matriks

disimpan
sadmitans.m.
s.m disimpan
sama untuk
utama
menggunakan

dengan tahap
men matriks
kan nilai-nilai
beban Pd dan
n Pg dan Qg.
simum dari Q.
n disimpan
a.m

ampilkan hasil
k tabulasi pada
simpan dengan

peri disimpan
alirdayaNR.m.
arus diinputkan
rasi, percepatan
m iterasi, dan

besar beban puncak yang sudah
ditentukan berdasarkan desain
skenario.

Berikut ini adalah script untuk
program utama:

```
clc;
clear
basemva=100;
accuracy=0.001;
accel=1.8; maxiter=100;
Bp = input ('masukkan
beban puncak sistem
(MVA): '); clc
b25 = Bp*0.04*0.95; b26 =
Bp*0.04*0.31;
b35 = Bp*0.26*0.95; b36 =
Bp*0.26*0.31;
b45 = Bp*0.22*0.95; b46 =
Bp*0.22*0.31;
b55 = Bp*0.49*0.95; b56 =
Bp*0.49*0.31;
data sistem
busadmitans
alirandaya
output
```

Setelah program disusun tahap
selanjutnya adalah menjalankan program
Aliran Daya menggunakan MATLAB.
Desain/skenario aliran daya dilakukan
dalam kondisi kemampuan pembangkit
dengan daya terpasang pembangkit disetiap
Gardu Induk mengikuti data yang diberikan
dalam Tabel 1, sedangkan daya mampu
pembangkit dari tahun 2011 s/d 2013 rata-
rata sebesar 67% dari daya terpasang
dengan faktor daya sebesar 0,85.

Skenario beban dilakukan dalam 6
(enam) kondisi proyeksi beban puncak
sistem yakni:

1. Beban puncak 7 November 2013.
2. Beban puncak 64 MVA (2013)
3. Beban puncak 68 MVA (2014)
4. Beban puncak 74 MVA (2015)
5. Beban puncak 80 MVA (2016)
6. Beban puncak 86 MVA (2017)

3.2 Hasil Simulasi Aliran Daya

Hasil simulasi aliran daya untuk
setiap skenario beban puncak adalah
sebagai berikut:

Skenario 1

Beban Puncak : 52,83 MVA (7 November 2013)
Max. Power Mismatch : 0.000377632
Jumlah Iterasi : 2

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
Gl Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	1,132	0,258	0	0,00
Gl Buroko	149,9	-0,062	1,800	0,590	0,388	0,000	0	-0,06
Gl Isimu	150,0	-0,051	13,020	4,250	4,800	11,210	0	0,00
Gl Marisa	148,6	-0,310	10,980	3,580	7,820	0,000	0	-0,94
Gl Botupingge	150,0	0,403	24,390	7,960	35,050	5,007	0	0,00
Total			50,190	16,380	49,190	16,475	0	

Skenario 2

Beban Puncak : 64 MVA
Max. Power Mismatch : 0.000832435
Jumlah Iterasi : 2

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
Gl Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	2,907	-0,115	0	0,00
Gl Buroko	149,9	-0,169	2,432	0,794	1,000	0,000	0	-0,06
Gl Isimu	150,0	-0,311	15,808	5,158	13,800	12,349	0	0,00
Gl Marisa	148,1	-0,897	13,376	4,365	7,300	0,000	0	-1,29
Gl Botupingge	150,0	-0,029	29,792	9,722	36,400	7,881	0	0,00
Total			61,408	20,039	61,407	20,115	0	

Skenario 3

Beban Puncak : 68 MVA
Max. Power Mismatch : 0.000750387
Jumlah Iterasi : 5

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
Gl Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	6,814	3,047	0	0,00
Gl Buroko	149,3	-0,339	2,584	0,843	1,000	0,000	0	-0,49
Gl Isimu	148,5	-0,709	16,796	5,481	13,800	9,433	0	-1,00
Gl Marisa	146,4	-1,402	14,212	4,638	7,300	0,000	0	-2,41
Gl Botupingge	148,5	-0,503	31,654	10,329	36,400	9,005	0	-1,00
Total			65,246	21,291	65,314	21,485	0	

Skenario 4

Beban Puncak : 74 MVA
 Max. Power Mismatch : 0.000744955
 Jumlah Iterasi : 7

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
GI Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	12,664	5,804	0	0,00
GI Buroko	148,6	-0,631	2,812	0,918	1,000	0,000	0	-0,92
GI Isimu	147,0	-1,403	18,278	5,954	13,800	7,196	0	-2,00
GI Marisa	144,6	2,256	15,466	5,047	7,300	0,000	0	-3,60
GI Botupinge	147,0	-1,317	34,447	11,241	36,400	10,693	0	-2,00
Total			71,003	23,170	71,164	23,693	0	

Skenario 5

Beban Puncak : 80 MVA
 Max. Power Mismatch : 0.000746551
 Jumlah Iterasi : 6

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
GI Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	18,539	4,439	0	0,00
GI Buroko	148,6	-0,989	3,040	0,992	1,000	0,000	0	-0,94
GI Isimu	147,0	2,555	19,760	6,448	13,800	9,167	0	-2,00
GI Marisa	144,3	-3,254	16,720	5,456	7,300	0,000	0	-3,77
GI Botupinge	147,0	-2,293	37,240	12,152	36,400	12,388	0	-2,00
Total			76,760	25,848	77,039	25,994	0	

Skenario 6

Beban Puncak : 86 MVA
 Max. Power Mismatch : 0.000739511
 Jumlah Iterasi : 8

Nama Bus	Tegangan Sudut Fasa		Beban		Daya dibangkitkan		Injeksi	Teg. Drop
	(kV)	(derajat)	(MW)	(MVAR)	(MW)	(MVAR)		
GI Lolak	150,0	0,000	0,000	0,000	24,497	7,312	0	0,00
GI Buroko	147,9	-1,289	3,268	1,066	1,000	0,000	0	-1,38
GI Isimu	145,5	-2,984	21,242	6,932	13,800	7,188	0	-3,00
GI Marisa	142,6	-4,153	17,974	5,865	7,300	0,000	0	-4,96
GI Botupinge	145,5	-3,149	40,033	13,063	36,400	14,089	0	-3,00
Total			82,517	26,926	82,997	28,589	0	

Tabel 5. Daya (MW) hasil simulasi aliran daya

Nama Bus	Daya (MW) yang dibangkitkan tiap skenario					
	1	2	3	4	5	6
GI Lolak (Sistem Minahasa)	1,13	2,91	6,81	12,66	18,54	24,50
GI Buroko	0,39	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
GI Isimu	4,80	13,80	13,80	13,80	13,80	13,80
GI Marisa	7,82	7,30	7,30	7,30	7,30	7,30
GI Botupinge	35,05	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40
Sistem Gorontalo	48,06	58,50	58,50	58,50	58,50	58,50
Total Kebutuhan Daya	49,19	61,41	65,31	71,16	77,04	83,00
Cadangan Daya	-1,13	-2,91	-6,81	-12,66	-18,54	-24,50
Status Cadangan	Defisit	Defisit	Defisit	Defisit	Defisit	Defisit

Dari hasil simulasi terlihat bahwa, kemampuan pembangkit di sistem Gorontalo dalam melayani beban puncak masih sangat kurang. Untuk kondisi beban puncak yang terjadi pada tanggal 7 November 2013 sistem Gorontalo mengalami defisit daya sebesar 1,13 MW, seperti ditunjukkan dalam Tabel 5.

Kekurangan pasokan daya ini, berdasarkan simulasi aliran daya akan diatasi oleh sistem Minahasa – Kotamobagu sebagai sistem yang sudah interkoneksi dengan sistem Gorontalo. Status “defisit” cadangan daya di sistem Gorontalo ini akan berlangsung terus sampai di tahun 2017 jika beban puncak yang akan terjadi tidak berbeda jauh dengan proyeksi beban puncak sedangkan daya mampu pembangkit tidak mengalami peningkatan atau tidak ada penambahan unit pembangkit yang baru.

3.3 Langkah Strategis

Dalam rangka mengatasi kekurangan pasokan daya saat ini, maka proyek-proyek penambahan unit pembangkit yang baru perlu direalisasikan tepat waktu, yakni: (PT. PLN, 2012)

1. PLTM Taludaa I dengan kapasitas 2,3 MW yang rencananya akan beroperasi di tahun 2014

Keterangan	Impt	Impt	Impt	Impt	Impt	Impt
------------	------	------	------	------	------	------

(Sumber: Hasil Analisis)

2. PLTM Duhiya dengan kapasitas 2,3 MW yang juga rencananya akan beroperasi di tahun 2014
3. PLTU Anggrek dengan kapasitas 50 MW direncanakan beroperasi tahun 2014
4. PLTU Gorontalo Energi dengan kapasitas 12 MW direncanakan akan beroperasi di tahun 2014

Proyek ini sangat strategis karena selain mengatasi kekurangan pasokan daya, proyek ini juga sekaligus mengurangi pemakaian BBM pada pembangkit-pembangkit yang eksisting, karena sebagai besar pusat listrik di Gorontalo dari jenis PLTD, kecuali PLTM Mongango dengan kapasitas terpasang 1,2 MW dan PLTU Molotabu 2 x 10 MW. Jika proyek ini selesai tepat waktu di tahun 2014, maka sistem Gorontalo akan memperoleh penambahan daya sebesar 93,9 MW.

Penambahan daya sebesar 93,9 MW ini hanya dapat mengatasi kekurangan pasokan daya hingga tahun 2017 jika beban puncak yang akan terjadi sesuai dengan proyeksi beban puncak sistem Gorontalo. Oleh karena itu, selain usaha-usaha penambahan unit pembangkit yang baru, maka sangat diperlukan usaha-usaha dalam rangka penghematan energi dan juga pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Sampai saat ini, kontribusi pembangkit menggunakan energi terbarukan di sistem Gorontalo masih sangat kecil, yakni 1,2 MW atau hanya 1,4% dari total kapasitas terpasang di sistem Gorontalo.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Kemampuan pembangkit pada sistem Gorontalo masih sangat kurang untuk melayani beban listrik konsumen. Defisit daya sistem Gorontalo sampai dengan tahun 2017 berturut-turut adalah:

2,91 MW (2013); 6,81 MW (2014); 12,66 MW (2015); 18,54 MW (2016); dan sebesar 24,5 MW di tahun 2017. Kekurangan pasokan daya ini akan dipenuhi dari sistem Minahasa – Kotamobagu melalui sistem interkoneksi.

B. Saran

Untuk mengantisipasi kekurangan pasokan daya di sistem Gorontalo maka proyek-proyek strategis yakni penambahan unit pembangkit yang baru harus sudah dapat beroperasi di tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirullah., Ontoseno Penangsang., Mauridhi Hery Purnomo., 2008., Studi Aliran Daya Menggunakan Jaring Saraf Tiruan *Counterpropagation* Termomodifikasi. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2008., Yogyakarta. (Diambil dari: <http://puslit.petra.ac.id/pada tanggal 28/02/2012 jam 10:52>)
- Emmy Hosea., Yusak Tanoto., 2005., Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode *Newton-Raphson* (Diambil dari: <http://puslit.petra.ac.id/pada tanggal 28/02/2012 jam 10:55>)
- Ervan Harun., Taufiq Yusuf., 2012., Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode *Newton Rhapsod*. Laporan Penelitian PNPB 2012. Lemlit UNG.
- Gupta., BR., 1998., Power System Analysis and Design., A.H. Wheeler & Co. Ltd., New Delhi.
- Kundur, P., 1993., Power System Stability and Control., McGraw-Hill, Inc., New York

- Momoh., James A., 2001., *Electric Power System Applications of Optimization.*, Marcel Dekker, Inc., New York.
- Powell, L., 2005, "Power System Load Flow Analysis", McGraw-Hill, USA
- PT. PLN (Persero)., 2012., Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2012 – 2021.
- PT. PLN (Persero)., 2013., Statistik PLN 2012., Sekretariat Perusahaan PT. PLN (Persero).
- Saadat, Hadi., 1999., *Power System Analysis.*, McGraw-Hill Book Co., Singapura.
- Stevenson, William D., Granger, John J., 1994., *Power System Analysis.*, McGraw-Hill International Edition., New York
- Wilhelmina S.Y.M Sawai., 2008., Studi Aliran Daya menggunakan ETAP., FT UI., (Diambil dari: <http://www.lontar.ui.ac.id> pada tanggal 25/02/2012 jam 9:35)