

**OPTIMASI KONDISI JARINGAN LISTRIK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO DI DESA ANDUNGBIRU KECAMATAN
TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO**

Publikasi Jurnal Skripsi



Disusun Oleh :

YUDISTIRA ADI NUGRAHA

NIM : 0610630111 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2013**



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Jalan MT Haryono 167 Telp& Fax. 0341 554166 Malang 65145

**KODE
PJ-01**

**PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

NAMA : YUDISTIRA ADI NUGRAHA
NIM : 0610630111
PROGRAM STUDI : TEKNIK ENERGI ELEKTRIK
**JUDUL SKRIPSI : OPTIMASI KONDISI JARINGAN LISTRIK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DESA
ANDUNGBIRU KECAMATAN TIRIS KABUPATEN
PROBOLINGGO**

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Teguh Utomo, M.T
NIP. 19650913 199103 1 003

Dr. Ir. Harry Soekotjo D., M.Sc.
NIP. 194390309 198602 1 001

OPTIMASI KONDISI JARINGAN LISTRIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI DESA ANDUNGBIRU KECAMATAN TIRIS KABUPATEN PROBOLINGGO

Yudistira Adi Nugraha¹, Ir. Teguh Utomo, MT.², Dr. Ir. Harry Soekotjo D., M.Sc.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: yudistira06@gmail.com

Abstract - Micro hydro power plant implementation in the villages are generally not supported by a good network planning. This has led to a variety of problems, including problems with the voltage drop due to loss in the channel is too big and it is even worse with an unbalanced load distribution. The case occurred in the village district Andungbiru rain in Probolinggo district. Incoming voltage at the customer's home impaired voltage (voltage drop) due to losses occurring in the channel. Previously been carried Design of Low Voltage Electrical Network in these locations. However, the results of network planning is still necessary in the reconfiguration. In order to be optimal conditions. Optimization of network conditions is done by analyzing the power grid shortly afterwards looking for loads of points possible for the reconfigured. Of alternative existing network, then sought to analyze the burden where alternative network with the smallest power losses.

Index Terms – micro hydro power plant, power losses, voltage drop.

Abstrak - Penerapan PLTMH di desa-desa pada umumnya belum didukung dengan perencanaan jaringan yang baik. Hal ini mengakibatkan berbagai masalah, diantaranya permasalahan pada jatuh tegangan akibat rugi pada saluran terlalu besar dan bahkan hal tersebut diperparah dengan pembagian beban yang tidak seimbang. Kasus tersebut terjadi di desa Andungbiru kecamatan tiris kabupaten Probolinggo. Tegangan yang masuk pada rumah pelanggan mengalami penurunan nilai tegangan (Voltage drop) akibat rugi yang terjadi di sisi saluran. Sebelumnya telah dilakukan Perancangan Jaringan Listrik Tegangan Rendah pada lokasi tersebut. Namun hasil dari perencanaan jaringan tersebut masih perlu di rekonfigurasi. Agar di dapat kondisi yang optimal. Optimasi kondisi jaringan dilakukan dengan cara menganalisis jaringan listrik yang lama kemudian mencari titik-titik beban yang mungkin untuk direkonfigurasi. Dari alternatif jaringan yang ada, dilakukan analisis beban kemudian dicari mana alternatif jaringan dengan rugi daya yang paling kecil.

Kata Kunci – PLTMH, jaringan listrik, jatuh tegangan, rugi daya, optimasi.

I. PENDAHULUAN

Tenaga listrik memegang peranan penting dalam pengembangan ekonomi dan pembangunan suatu bangsa. Kebutuhan tenaga listrik pada umumnya akan naik, dengan laju pertumbuhan rata-rata 9,8% per tahun, terutama tergantung pada pertumbuhan ekonomi dan laju perkembangan industri suatu negara. Hal ini berpengaruh terhadap penyediaan energi listrik.

Semakin jelas bahwa harus ada suatu gagasan baru mengenai sumber-sumber penghasil energi dan rumusan program-program dengan efisiensi maksimal [4].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah salah satu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) *low head* dengan kapasitas kurang dari 500 Kilo Watt (kW). PLTMH mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan di Indonesia. Potensi total PLTMH di Indonesia tahun 2002 adalah sebesar 500 Mega Watt (MW), yang sudah dimanfaatkan baru 21 MW [5].

Pada bulan Januari tahun 2012, PT. PGN (Persero) Tbk dan BPP Fakultas Teknik Universitas Brawijaya mendirikan PLTMH baru (PLTMH Andungbiru 2) di desa Andungbiru yang diletakkan sejajar dan disamping PLTMH lama (PLTMH Andungbiru 1) dengan kemampuan pembangkitan daya sebesar 16 kVA. Sehingga desa Andungbiru memiliki 2 PLTMH yaitu PLTMH Andungbiru 1 yang berdaya 40 kVA dan PLTMH Andungbiru 2 yang berdaya 16 kVA. PLTMH tersebut ditujukan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik di desa Andungbiru yang terus bertambah. Kedua PLTMH di tersebut masih bekerja secara terpisah, oleh karena itu setiap PLTMH memiliki jaringan listrik masing-masing atau dengan kata lain tidak terinterkoneksi antara satu dengan yang lain.

Sebelumnya telah dilakukan perancangan jaringan listrik tegangan rendah pada lokasi tersebut. Namun hasil dari perencanaan jaringan tersebut masih perlu di rekonfigurasi untuk memperoleh kondisi optimal.

Optimasi kondisi jaringan dilakukan dengan cara menganalisis jaringan listrik yang lama kemudian mencari titik-titik beban yang mungkin untuk direkonfigurasi. Dari kemungkinan-kemungkinan yang ada, dilakukan analisis beban kemudian dicari mana kemungkinan rekonfigurasi jaringan dengan rugi jaringan yang paling kecil.

Untuk mengetahui keadaan jaringan pada pengoperasian normal digunakan suatu analisis yang disebut analisis aliran daya. Dengan analisis aliran daya ini akan dapat diketahui besar tegangan, jatuh tegangan, arus dan daya pada penghantar serta rugi-rugi yang terjadi pada jaringan. Metode yang digunakan dalam proses analisis aliran daya ini adalah metode teknik topologi. Metode ini hanya dapat digunakan pada jaringan distribusi radial.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro adalah pembangkit listrik berukuran kecil yang memanfaatkan air sebagai tenaga penggerak turbin atau kincir air. Sumber tenaga berupa air dengan tinggi jatuh yang tidak terlalu tinggi. PLTMH merupakan bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dimana energi air (potensial kinetik) sebagai sumber energi/daya dengan kapasitas daya terbangkitkan sampai dengan 500 kW [8].

Pada skripsi ini digunakan PLTMH dengan dua generator yang terinterkoneksi dengan kapasitas daya 40 kVA dan 16 kVA.

Besarnya daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, ditentukan melalui persamaan [8]:

$$P_h = \rho * g * Q * h \text{ (kW)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- P_h = daya hidrolik (kW)
- ρ = rapat jenis air
= (1 g/cm³ = 1 kg/liter = 1000 kg/m³)
- g = gravitasi bumi (9,81 s/d 10 m/s²)
- Q = debit air (m³/s)
- h = tinggi jatuh air (m)

Besarnya debit air (Q) sangat dipengaruhi oleh curah hujan, luasan daerah aliran sungai, serta koefisien aliran. Debit air ini sangat menentukan dalam perencanaan dimensi dan kapasitas sistem pembangkitan secara keseluruhan. Persamaan untuk menentukan besarnya debit air adalah sebagai berikut:

$$V = \mathfrak{R} * \kappa * A \text{ (m}^3\text{)} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = V/t$$

$$= \frac{\mathfrak{R} * \kappa * A}{t} \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- V = volume air (m³)
- Q = debit air (m³/s)
- \mathfrak{R} = curah hujan rata-rata (mm, cm, atau m)
- κ = koefisien aliran
- A = luas daerah aliran sungai (m²)
- t = waktu (s)

Jika efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) diketahui, maka besarnya daya mekanik turbin dapat ditentukan dari persamaan [8]:

$$P_{tb} = \eta_{tb} * \eta_{pp} * P_h \text{ (kW)} \dots\dots\dots (4)$$

Apabila antara turbin dengan generator terdapat perangkat sistem transmisi mekanik dengan efisiensi transmisi mekanik (η_{tm}), dan efisiensi generator (η_g) diketahui, dapatlah ditentukan besarnya daya keluaran elektrik dari generator, melalui persamaan:

$$P_{out} = \eta_{tm} * \eta_g * P_{tb} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (5)$$

atau

$$P_{out} = \eta_{total} * P_h \text{ (kW)}$$

$$P_{out} = \eta_{total} * g * Q * h \text{ (kW)} \dots\dots (6)$$

Dalam hal ini, η_{total} adalah efisiensi total sistem mulai dari turbin sampai dengan generator ($\eta_{total} = \eta_{pp} * \eta_{tb} * \eta_{tm} * \eta_g$). Sedangkan $\eta_{pp} * \eta_{tb}$ dikenal pula dengan istilah efisiensi mekanik (η_{mek}).

B. Jatuh Tegangan

Dari tinjauan dasar kondisi-kondisi rangkaian, adanya tegangan pada sebuah tahanan menyebabkan arus mengalir melalui tahanan tersebut. Bila keadaan ini terjadi di dalam kabel-kabel utama atau saluran yang panjang, hal ini sering dihubungkan sebagai jatuh tegangan. Bilamana beban adalah reaktif, perbedaan fasa juga harus diperhitungkan.

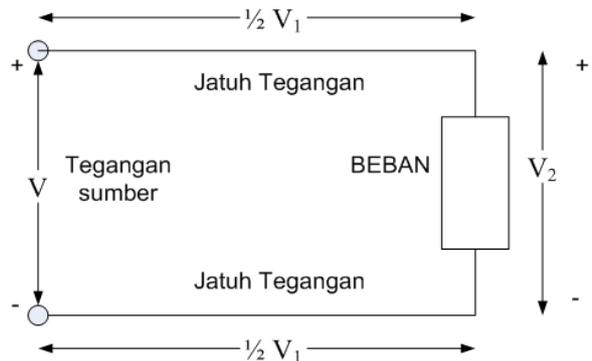
Apabila [6]:

- V = Tegangan sumber
- V_2 = Tegangan pada beban
- V_1 = Jatuh Tegangan = ZI

maka:

$$V = V_1 + V_2 \dots\dots\dots (7)$$

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Penurunan Tegangan sebagai Perbedaan Potensial yang Seri Dengan Beban

Sumber : Neidle, 1991

Baik dalam keadaan operasi maupun dalam perancangan harus selalu diperhatikan tegangan pada setiap titik dalam saluran. Besar perubahan tegangan yang diperbolehkan biasanya berkisar antara -10% sampai +5%. Jadi jatuh tegangan yang diijinkan adalah 10 % dari tegangan nominal [3].

Dalam jaringan listrik, khususnya jaringan listrik tegangan rendah nilai jatuh tegangan akibat adanya resistansi dan induktansi kabel penghantar perlu diperhitungkan. Untuk mencari nilai-nilai tersebut dapat diketahui melalui rumus [3]:

$$R = \rho \frac{l}{A} \Omega \dots\dots\dots (8)$$

$$X_1 = 0,14467 \left(\log \frac{1}{r'} + 0,10857 + \log d_{12} \right) \text{ ohm/km} \dots\dots\dots (9)$$

Dengan

- R = resistansi kabel (Ω)
- ρ = hambatan jenis ($\Omega \cdot m$)
- l = panjang kabel (m)
- A = Luas penampang kabel (m^2)
- X_1 = reaktansi induktif kabel (Ω/km)
- r' = GMR, radius rata-rata geometris kabel (m)
- d_{12} = GMD, jarak rata-rata geometris kabel (m)

Besarnya nilai resistansi dan induktansi pada kabel ini nantinya akan mempengaruhi jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan listrik TR (tegangan rendah). Jatuh tegangan yang terjadi dapat ditekan dengan menaikkan tegangan kerja pada jaringan listrik tersebut karena arus yang mengalir pada kabel adalah lebih kecil jika tegangannya diperbesar.

C. Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan (*Network Reconfiguration*) merupakan suatu usaha merubah bentuk konfigurasi jaringan distribusi dengan mengoperasikan pensaklaran terkontrol jarak jauh (*switching remotely controlled*) pada jaringan distribusi tanpa menimbulkan akibat yang beresiko pada operasi dan bentuk sistem jaringan distribusi secara keseluruhan [2].

Dalam kondisi operasi normal, rekonfigurasi jaringan dilakukan karena dua alasan [2]:

1. Mengurangi rugi-rugi daya pada sistem (*loss reduction*).
2. Mendapatkan pembebanan yang seimbang untuk mencegah pembebanan yang berlebih pada jaringan (*load balancing*)

Rekonfigurasi penyulang adalah perubahan struktur topologi distribusi dengan mengubah keadaan bukatutup dari *sectionalizing* dan *tie switch*, yang biasanya dilakukan untuk tujuan perbaikan dan pemeliharaan peralatan distribusi ataupun untuk keperluan pengurangan rugi-rugi atau regulasi tegangan. Keseluruhan atau sebagian dari beban suatu penyulang dapat disuplai oleh penyulang lain dengan menutup *tie switch* yang menghubungkan kedua penyulang, bersamaan dengan membukanya *sectionalizing switch* untuk menjaga stuktur radial [7].

Dalam konteks pengurangan rugi-rugi, permasalahan rekonfigurasi adalah menentukan *tie* dan *sectionalizing switch* mana yang harus ditutup dan dibuka, untuk mendapatkan pengurangan rugi-rugi maksimum, yang mana dibutuhkan untuk mendapatkan suatu algoritma yang dapat melibatkan semua *tie* dan *sectionalizing switch* yang berhubungan; dalam suatu fungsi optimasi rugi-rugi. Dalam hal ini fungsi optimasi rugi-rugi yang mungkin diterapkan adalah fungsi optimasi minimasi rugi-rugi kuadratik, dengan set kendala arus yang mempertimbangkan efek dari *switching* bebas antara level tegangan yang berbeda. Algoritma ini sederhana dan memakan waktu yang singkat hingga dapat dikembangkan sebagai *control real time* pada pusat pengatur beban distribusi, selain itu dapat juga diterapkan pada studi perencanaan rekonfigurasi jaringan distribusi berdasarkan ramalan beban musiman atau harian, ataupun dalam kondisi darurat gangguan ataupun perbaikan, algoritma ini

dapat mempertahankan rugi-rugi minimal pada sistem distribusi.

Studi rekonfigurasi pada operasi sistem distribusi yang menggunakan data estimasi beban, telah membuktikan manfaat rekonfigurasi harian dari sistem distribusi. Tetapi metoda ini hanya akan berhasil baik, jika estimasi beban yang diperoleh mendekati keadaan beban yang sebenarnya, bila tidak maka strategi *switching* yang dilakukan menjadi kurang tepat; idealnya, rekonfigurasi sistem distribusi harus dilakukan berdasarkan data pengukuran *real time* dan tentu saja membutuhkan suatu algoritma yang mampu beroperasi pada mode *real time*.

Berikut ini dikemukakan beberapa metode rekonfigurasi sistem distribusi radial yang algoritmanya tetap menjaga struktur radial dari sistem distribusi [7]:

1. Algoritma ini dimulai dengan perhitungan aliran daya pada kasus dasar untuk sistem distribusi pada konfigurasi awal. Kemudian sistem direkonfigurasi secara acak, satu pasang *switch* pada satu waktu; dari konfigurasi dasarnya, dengan menutup satu *tieswitch* dan membuka satu *sectionalizing switch*. Jumlah pasangan *switch* terbuka; dimana beban hanya boleh ditransfer dari level tegangan yang lebih rendah ke level tegangan yang lebih tinggi, batasan ini mengurangi jumlah total kemungkinan operasi pasangan *switching* hampir setengahnya. Setiap konfigurasi yang baru dievaluasi rugi-ruginya dan dibandingkan dengan rugi-rugi konfigurasi dasar; konfigurasi yang mempunyai rugi-rugi terkecil ditetapkan menjadi konfigurasi yang baru. Masih banyaknya kemungkinan psangan *switching* pada metode ini membuat metode ini jika memakan waktu yang cukup banyak.
2. Pada metode ini rugi-rugi sistem distribusi dibentuk dalam fungsi kuadratik dari arus *switch* untuk masing-masing rangkaian dalam sistem distribusi; dalam hal ini lebih banyak jumlah *switch* yang dapat dilibatkan dalam merekonfigurasi sistem distribusi, penentuan konfigurasi sistem distribusi yang baru dilakukan dengan menyelesaikan pencarian secara random yang memakan waktu menggantinya dengan pola *switching multiple*. Metode ini juga mempertimbangkan efek dari *switching* beban antara level tegangan yang berbeda.

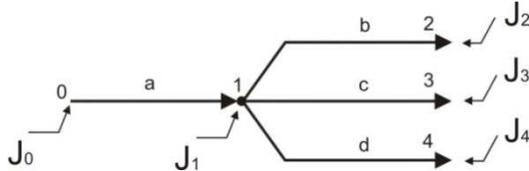
D. Analisis Saluran Udara Tegangan Rendah Metode Teknik Topologi untuk Saluran Distribusi Radial

Dalam analisis aliran daya, dimana objek yang sedang dianalisa memiliki banyak cabang dan beban sehingga akan menjadi sangat rumit jika dilakukan perhitungan biasa. Suatu metode diperlukan untuk mengatasi masalah ini, dan metode teknik topologi adalah solusi yang dipilih karena tingkat keakuratannya yang tinggi dalam menyelesaikan perhitungan.

Teknik topologi merupakan teknik menganalisa saluran listrik yang menggambarkan elemen saluran sebagai segmen garis disebut cabang dan titik hubung sebagai node yang keseluruhannya tergambar dalam suatu graph dari saluran [8].

Sebagai contoh pada gambar 3 di bawah, saluran radial dengan 5 node dan 4 cabang topologinya pada gambar dibawah. ordo matriks topologinya adalah jumlah node i (baris) dan cabang b (kolom). Pembentukannya berdasarkan :

1. Elemen berharga 0 bila cabang j dan node 1 tidak berhubungan.
2. Elemen berharga +1 bila cabang j berhubungan dengan node id dan arah alirannya meninggalkan node i
3. Elemen berharga -1 bila cabang j berhubungan dengan node id dan arah alirannya menuju node 1



Gambar 2 Sebuah Contoh Topologi Saluran Radial
Sumber : Nurhidajat, 1993:3

Maka matriks topologi saluran radial [TR] dapat dituliskan:

$$[TR] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

J merupakan arus injeksi pada node i, hubungan antara arus injeksi dan arus cabang dalam persamaan matriks [8]:

$$[J]=[TR][I] \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

- [J] = Matriks arus injeksi pada node i
- [TR] = Matriks topologi saluran
- [I] = Matriks arus cabang

K merupakan arus injeksi negatif pada node i dan dapat ditulis [8]:

$$K_i = -J_i$$

Sehingga arus cabang dapat dihitung :

$$[I] = [TR]^{-1}[J] \dots\dots\dots (11)$$

$$= -[TR]^{-1}[K]$$

$$= [A][K]$$

Jadi, $[A] = -[TR]^{-1}$

[K]= matriks kolom arus injeksi negatif

[A]=matriks topologi invers saluran radial

Jatuh tegangan pada setiap cabang adalah :

$$\Delta V_a = z_a \cdot I_a$$

$$\Delta V_b = z_b \cdot I_b$$

$$\Delta V_c = z_c \cdot I_c$$

$$\Delta V_d = z_d \cdot I_d$$

Dalam persamaan matriks :

$$[\Delta V] = [z][I]$$

$$[\Delta V] = [z][A][K] \dots\dots\dots (12)$$

Sedangkan jatuh tegangan tiap node terhadap node 0 adalah :

$$[\Delta U] = [A]^t[\Delta V] \dots\dots\dots (13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan-persamaan tersebut :

$$[\Delta U] = [A]^t[z][A][K]$$

$$[\Delta U] = [Z][K] \dots\dots\dots (14)$$

Dengan,

$$[Z] = [A]^t[z][A] \dots\dots\dots (15)$$

Sedangkan perhitungan daya pada node i dapat dituliskan :

$$S_i = V_i \cdot J_i^* \dots\dots\dots (16)$$

V_i = Tegangan pada node i

J_i^* = Arus injeksi konjugat pada node i

Karena seluruh node pada saluran radial adalah beban persamaan arus injeksi, maka dapat ditulis (Nurhidajat, 1993:3):

$$J_i = \frac{(P_{gi} - P_{bi}) - j(Q_{gi} - Q_{bi})}{V_i^*} \dots\dots\dots (17)$$

P_{gi} = Daya aktif produksi node i

P_{bi} = Daya aktif beban node i

Q_{gi} = Daya reaktif produksi node i

Q_{bi} = Daya reaktif beban node i

Jika node i merupakan node beban maka $P_{gi} = 0$ dan $Q_{gi} = 0$, sehingga:

$$J_i = \frac{-P_{bi} + jQ_{bi}}{V_i^*} \dots\dots\dots (13)$$

$$K_i = \frac{P_{bi} - jQ_{bi}}{V_i^*} \dots\dots\dots (14)$$

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Studi literatur

Untuk mendukung penulisan skripsi ini agar didapatkan hasil yang maksimal diperlukan literatur sebagai acuan penulisan. Studi literatur ini digunakan untuk mengetahui dasar teori sehingga mampu menunjang dalam proses perancangan saluran listrik yang dibutuhkan. Studi literatur ini menggunakan sumber yang berasal dari buku, jurnal ilmiah, hasil perancangan jaringan listrik lama dan dari internet.

B. Survey lapangan

Kegiatan survei lapangan ini yaitu terjun langsung untuk mengamati dan mengetahui kondisi riil lapangan serta untuk mendapatkan informasi-informasi penting lain yang terkait guna melengkapi data-data.

C. Pengumpulan data

Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data perencanaan jaringan lama yang berisi antara lain :

1. Data perencanaan konfigurasi jaringan listrik lama
2. Data perencanaan titik beban
3. Data perencanaan panjang dan jenis konduktor.

D. Perancangan Macam-Macam Alternatif Saluran Udara Tegangan Rendah

Perancangan macam-macam alternatif SUTR ini terdiri dari pemilihan titik-titik beban yang mungkin dilakukan rekonfigurasi. Sehingga akan didapat beberapa alternatif jaringan baru.

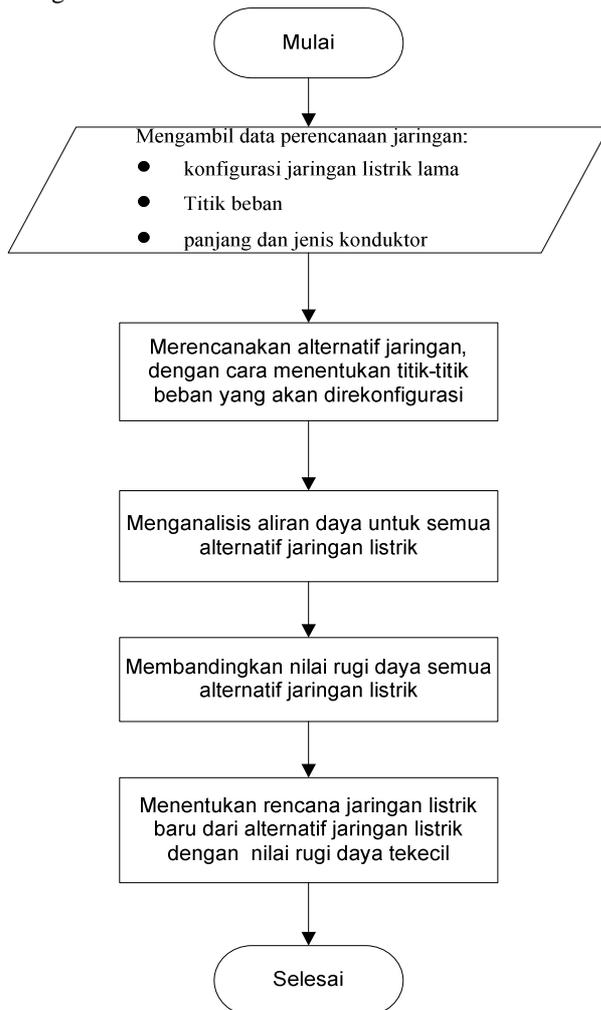
E. Analisis Perhitungan Aliran Daya pada SUTR

Setelah data yang diperlukan telah diperoleh, kemudian perancangan dari setiap alternatif sistem saluran listrik telah dibuat, maka akan kita bandingkan alternatif mana dari setiap rancangan sistem saluran listrik yang paling baik dengan memperhitungkan segala kelebihan dan kelemahan dari setiap alternatif tersebut, dalam hal ini khususnya jatuh tegangan dari sisi kirim ke sisi terima dan rugi-rugi daya sistem.

F. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Tahap selanjutnya adalah pengambilan kesimpulan dan saran dari keseluruhan sistem yang telah dibuat. Saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian untuk pengembangan di masa mendatang.

Flowchart optimasi kondisi jaringan listrik adalah sebagai berikut :



Gambar 3 Flowchart Optimasi Kondisi Jaringan Listrik

IV. PEMBAHASAN

A. Analisis Jaringan Listrik PLTMH sebelum Optimasi

Jaringan listrik pada PLTMH lama merupakan jaringan radial dengan memiliki kms terjauh sebesar ±2 km.

Pada perancangan jaringan listrik sebelum optimasi ini terdapat 2 buah PLTMH yaitu PLTMH Andungbiru1 30 kW (PLTMH lama) dan PLTMH Andungbiru2 16 kW(PLTMH baru), sehingga daya sistem bertambah menjadi 46 kW. Generator pada kedua PLTMH tersebut tidak diinterkoneksi oleh karena itu jaringan distribusi untuk masing-masing PLTMH dirancang secara terpisah.

Beban pada masing-masing fasa yang harus seimbang menuntut untuk penggunaan kabel yang banyak, tetapi penggunaan jaringan listrik yang terpisah setiap fasanya ternyata cukup efektif dalam meminimalisir penggunaan kabel penghantar terutama pada kondisi pegunungan dan pedesaan yang titik beban tidak terbagi dengan rata.

1. Data Penghantar dan Data Titik Beban

Kabel penghantar yang digunakan adalah kabel pilin / twisted cable NFA2X, inti aluminium dengan isolasi XPLE. Karena kabel dapat digunakan untuk distribusi tegangan rendah (PT PLN, 2010:127). Dengan menggunakan data catalog kabel dari PT Kabelindo, didapatkan spesifikasi teknis listrik sebagai berikut :

Tabel 1 Tabel spesifikasi kabel TIC menurut catalog data PT Kabelindo

Nominal Cross Section Area		DC Resistance at 20° C						Current Carrying Capacity at 30° C		Conductor Short Circuit Current at :		
phase	Neutral	Conductor Max.			Insulation Min.			Neutral	Public Lighting	0.1 Sec.		
		Phase	Neutral	Public Lighting	Phase	Neutral	Public Lighting			Sec.	Sec.	Sec.
mm ²	mm ²	Ohm / km			M ohm/km			A	mm	kA	kA	kA
25	25	1.20	1.36		680	590		103		7.27	3.35	2.39
35	25	0.869	1.33		590	590		125		10.18	4.55	3.23
50	35	0.641	0.985	1.91	500	590	630	154	72	14.55	6.51	4.60
70	50	0.443	0.690		470	490		196		20.37	9.11	6.44
95	70	0.320	0.450		450	470		242		27.64	12.36	8.74

Sumber : PT Kabelindo

Karena merupakan sirkit tunggal 2 kawat, maka penghantar netral harus mempunyai luas penampang penghantar yang sama sama seperti penghantar fasa (PUIL 2000:77)

Sedangkan beban-beban dikelompokkan ke dalam titik-titik beban. Data beban yang dianalisis terdiri dari data beban pengukuran pada beban puncak dan data beban maksimum untuk rating APP (Alat Pengukur dan Pembatas). Pada kondisi beban maksimum, dipilih pf = 0.85 (untuk daerah pedesaan berdasar SPLN 74:1987 tentang standar listrik pedesaan).

Semakin besar dimensi kabel penghantar yang digunakan akan semakin kecil rugi daya penyaluran yang diakibatkan, tetapi akan semakin mahal harganya. Oleh sebab itu maka digunakan luas penampang kabel yang berbeda-beda untuk tiap fasa dan titik beban. Penentuan luas penampang kabel dilakukan agar dimensi yang digunakan dapat seminimal mungkin dengan tegangan jatuh tetap tidak lebih dari 10%.

2. Analisis Hasil Perancangan Jaringan Sebelum Optimasi

Perhitungan analisis saluran udara tegangan rendah metode teknik topologi dilakukan menggunakan menggunakan software MATLAB 7.1, spesifikasi komputer yang digunakan adalah Pentium Core2Duo, RAM 2048 MB.

Dari hasil perhitungan yang didapat, tegangan minimum pada tiap fasa dengan kondisi beban yang sedang terpasang saat ini adalah,

Tabel 2. Tabel prosentase jatuh tegangan dan rugi-rugi Untuk Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru 1

FASA	Kondisi pada beban yang sedang terpasang			Kondisi pada beban maksimum menurut rating APP yang terpasang (pf=0.85)		
	Tegangan Minimum	% Tegangan Jatuh	Rugi saluran (W)	Tegangan Minimum	% Tegangan Jatuh	Rugi saluran (W)
R	218.81	0.54	63.20	214.40	2.54	302.88
S	211.24	3.98	132.07	198.18	9.92	784.15
T	212.25	3.52	93.28	198.37	9.83	712.46
	Total 288.57			Total 1799.49		

Sumber : Dzulhid, 2012

Sedangkan untuk tegangan minimum pada tiap fasa dan rugi saluran pada Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru 2 terdapat pada tabel 4.15.

Tabel 3. Tabel prosentase jatuh tegangan dan rugi-rugi Untuk Jaringan Listrik PLTMH Andungbiru 2

FASA	Kondisi pada beban yang sedang terpasang			Kondisi pada beban maksimum menurut rating APP yang terpasang (pf=0.85)		
	Tegangan Minimum	% Tegangan Jatuh	Rugi saluran (W)	Tegangan Minimum	% Tegangan Jatuh	Rugi saluran (W)
R	215.14	2.21	30.66	199.37	9.38	581.03
S	214.01	2.72	46.12	198.38	9.83	689.68
T	214.50	2.50	35.51	199.31	9.41	645.11
	Total 112.29			Total 1915.81		

Sumber : Dzulhid, 2012

Sehingga dapat diketahui bahwa rugi saluran untuk kondisi beban yang terpasang adalah sebesar = $288.57 + 112.29 = 400.86$ W. Sedangkan rugi saluran untuk kondisi beban maksimum menurut rating APP yang terpasang sebesar = $1799.49 + 1915.81 = 3715.3$ W.

B. Optimasi Kondisi Jaringan

1. Penentuan Alternatif Jaringan Listrik

Pada kondisi jaringan lama baik pada generator 1 maupun generator 2, terdapat beberapa titik beban yang berada pada lebih dari satu jalur fasa. Kondisi tersebut memungkinkan dirubahnya fasa yang melayani titik beban. Berikut ini adalah beberapa titik beban yang dimaksud.

Tabel 10 Titik Beban, fasa yang melayani, dan alternatif fasa lain yang melayani.

Node	Fasa Awal Yang Melayani	Alternatif Fasa Lain Yang Melayani
PLTMH Andungbiru 1		
T18	S	R, T
T20	S	T
T25	S	T
T26	S	T
T28	S	T
T36	S	T

Node	Fasa Awal Yang Melayani	Alternatif Fasa Lain Yang Melayani
PLTMH Andungbiru 2		
T84	T	R,S
T101	S	R

Sumber: Penulis

Dari tabel di atas dapat dihitung berapa banyak alternatif rekonfigurasi jaringan. Untuk generator 1 sebanyak = $3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 96$ alternatif rekonfigurasi jaringan. Dan untuk generator 2 sebanyak = $3 \times 2 = 6$ alternatif rekonfigurasi jaringan.

2. Pemilihan Alternatif Jaringan Optimal

Dari hasil analisis daya setiap alternatif di atas, pada PLTMH Andungbiru 1 dapat diketahui dari tabel 4.21 bahwa kondisi optimal untuk data pengukuran pada beban puncak dicapai oleh alternatif jaringan nomor 47. Yaitu dengan menempatkan T25, T26, dan T28 menjadi fasa T sehingga memperoleh nilai rugi saluran sebesar 207.41 Watt.

Sedangkan untuk data beban maksimum rating APP, kondisi optimal dicapai oleh alternatif jaringan dengan nomor 69. Yaitu dengan menempatkan T18 dan T26 menjadi fasa T sehingga memperoleh nilai rugi saluran sebesar 1304.67 Watt.

Pada PLTMH Andungbiru 2 diketahui dari tabel 4.22 bahwa kondisi optimal untuk data pengukuran pada beban puncak dan data beban maksimum rating APP didapat oleh alternatif jaringan yang sama, alternatif jaringan nomor 6. Yaitu dengan menempatkan T84 menjadi fasa R dan T101 menjadi fasa S. Nilai rugi saluran yang didapat untuk data pengukuran pada beban puncak sebesar 79.07 Watt dan untuk data beban maksimum rating APP sebesar 1305.2 Watt.

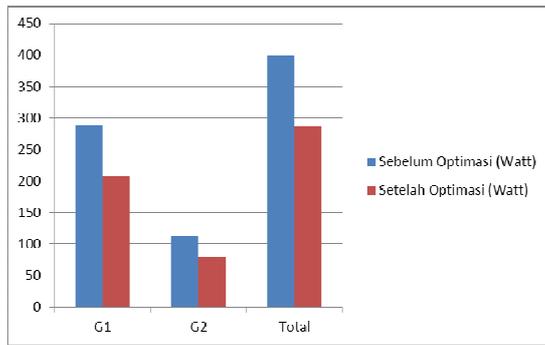
C. Perbandingan Jaringan Listrik Sebelum Optimasi dengan Hasil Perancangan Jaringan Listrik Setelah Optimasi

Membandingkan besarnya rugi daya total yang terjadi untuk kondisi aktual beban puncak sebagai mana yang nampak pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Tabel perbandingan rugi daya saluran pada jaringan sebelum optimasi dan jaringan setelah optimasi pada kondisi beban aktual

	Sebelum Optimasi (Watt)	Setelah Optimasi (Watt)
G1	288.57	207.41
G2	112.29	79.07
Total	400.86	286.48

Sehingga selisih rugi daya sebelum dan sesudah optimasi sebesar = 400.86 W - 286.48 W = 114.38 Watt.



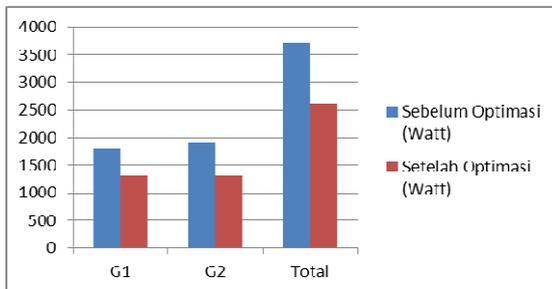
Gambar 4. Diagram Perbandingan Total Rugi Daya Saluran Pada Jaringan Lama Dan Jaringan Baru Pada Kondisi Beban Aktual.

Kemudian membandingkan besarnya rugi daya total yang terjadi untuk kondisi beban maksimum *rating* APP seperti pada tabel 12 berikut.

	Sebelum Optimasi (Watt)	Setelah Optimasi (Watt)
G1	1799.49	1304.67
G2	1915.81	1305.19
Total	3715.3	2609.86

Tabel 12. Tabel perbandingan rugi daya saluran pada jaringan sebelum optimasi dan jaringan setelah optimasi pada kondisi beban maksimum *rating* APP

Sehingga selisih rugi daya sebelum dan sesudah optimasi sebesar = $3715.3W - 2609.86W = 1105.44$ Watt.



Gambar 5. Diagram Perbandingan Total Rugi Daya Saluran Pada Jaringan Lama dan Jaringan Baru pada Jaringan Lama Dan Jaringan Baru pada Kondisi Beban Maksimum *Rating* APP

Dari gambar 4 maupun gambar 5 di atas nampak bahwa terjadi penurunan rugi daya antara rancangan jaringan listrik awal dan jaringan listrik baru.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari rancangan jaringan listrik tegangan rendah yang lalu, dapat direkonfigurasi dengan cara merubah fasa yang melayani titik-titik beban tertentu. Titik-titik beban yang dirubah fasanya ditentukan dengan cara melihat titik beban mana yang dilewati oleh jaringan fasa-fasa yang berlainan. Dari perubahan tersebut akan didapatkan beberapa kombinasi alternatif jaringan.

Dengan metode analisis aliran daya teknik topologi jaringan, dapat dihitung nilai jatuh tegangan dan besarnya rugi daya jaringan pada beberapa kombinasi alternatif jaringan yang diajukan.

Kemudian dapat diketahui alternatif jaringan yang memiliki rugi daya jaringan terkecil. Rugi daya jaringan terkecil didapat dengan menempatkan beban pada tiang T18 dan T26 yang semula dilayani fasa S, menjadi dilayani fasa T. Untuk generator 2 dengan menempatkan beban pada tiang T84 yang semula dilayani fasa T menjadi dilayani fasa S dan titik beban T101 dari fasa S ke fasa R. Alternatif jaringan tersebut dipilih menjadi konfigurasi kondisi jaringan listrik tegangan rendah yang baru untuk PLTMH.

Perbandingan besarnya rugi daya jaringan antara rancangan jaringan listrik lama dengan yang baru sebesar, didapatkan penurunan rugi daya jaringan sebesar 114.38 Watt untuk kondisi beban puncak aktual. Sedangkan untuk kondisi beban maksimum sesuai *rating* Alat Pengukur dan Pembatas (APP) penurunan rugi daya jaringan sebesar 1105.44 Watt.

B. Saran

Perlunya metode dalam melaksanakan optimasi, sehingga menjadi lebih mudah dalam perhitungan dan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dulhidwandasadi. 2012. *Perancangan Jaringan Listrik Tegangan Rendah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Desa Andungbiru Kecamatan Tiris Kabupaten Probolinggo*. Tugas akhir tidak diterbitkan. Malang: Kampus Universitas Brawijaya.8
- [2] Fayyadl, Muhammad. 2006. *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Daya Listrik Dengan Metode Algoritma Genetika*. Tugas akhir tidak diterbitkan. Semarang: Kampus Universitas Diponegoro.
- [3] Hutauruk, T. S. 1990. "Transmisi Daya Listrik". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4] KESDM. 2010. *Indonesia Energy Outlook 2010*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral KESDM.
- [5] Maryono. 2008. <http://www.alpensteel.com/article/50-104-energi-sungai-pltmh--micro-hydro-power/1911-krisis-listrik-diatasi-oleh-pltmh> diakses April 2013.
- [6] Neidle, Michael. 1991. *Teknologi Instalasi Listrik*. Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- [7] Suyuti, Ansar. 2007. *Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah untuk Menekan Rugi-Rugi Energi Listrik pada Saluran*. Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- [8] Wibawa, Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik UNIBRAW.