

ANALISA REKONFIGURASI PADA FEEDER SIBUAK UNTUK MENGURANGI RUGI-RUGI DAYA DAN DROP TEGANGAN DENGAN MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Torang Harison*, Firdaus **

*Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: torangharison@gmail.com

ABSTRACT

The end of SibuaK line feeder facing a voltage drop phenomena. This phenomena is contributed by the length of the transmission line, as well as the distribution line. This paper purposes a reconfiguration of SibuaK feeder in order to reduce amount of power losses and the drop voltage. The design of reconfiguration SibuaK feeder refers to PLN standard (SPLN 1,1978). This reconfiguration uses LBS status updating approach which is triggered from Normally Close (NC) into Normally Open (NO) or in the refers condition. Beside that, it is required load transfer from SibuaK Feeder into Cadika Feeder. The result of ETAP 12.6.0 software indicates that the reconfigured SibuaK Feeder able to achieve lowest voltage on 18,162 kV with power losses shows 1,652 and 1,186 MVAR respectively.

Keywords : power losses, voltage drop, feeder of sibuaK, ETAP 12.6.0

I. PENDAHULUAN

Tenaga Listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri, hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain, penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam sistem tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah.

Besarnya rugi-rugi daya dan rugi tegangan pada saluran distribusi tergantung pada jenis dan panjang saluran penghantar, tipe jaringan distribusi, kapasitas trafo, tipe beban, faktor daya, dan besarnya jumlah daya terpasang serta banyaknya pemakaian beban-beban yang bersifat induktif yang menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif. Untuk mengurangi drop

tegangan dan rugi-rugi daya bisa diminimalkan dengan beberapa cara yaitu dengan melakukan penambahan pembangkit, melakukan perubahan dengan cara rekonfigurasi sistem.

Rekonfigurasi jaringan distribusi yaitu mengatur ulang konfigurasi jaringan dengan jalan membuka dan menutup switch yang terdapat pada jaringan distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dan untuk meningkatkan keandalan sistem. Penyulang SibuaK adalah salah satu penyulang dari Gardu Induk Bangkinang, penyulang ini termasuk dalam sistem 20 kV PT. PLN (Persero). Data terakhir pengukuran tegangan ujung penyulang sibuaK adalah 17,083 kV Pada GI Bangkinang dan memiliki rugi-rugi daya sebesar 1,797 MW dan 1,438 MVAR (Teknis dan non teknis). Untuk itu, dibutuhkan suatu sistem penyaluran tenaga listrik yang mampu memenuhi kebutuhan tersebut dengan baik dan tentunya harus memenuhi kriteria atau batasan perencanaan sistem distribusi diantaranya:

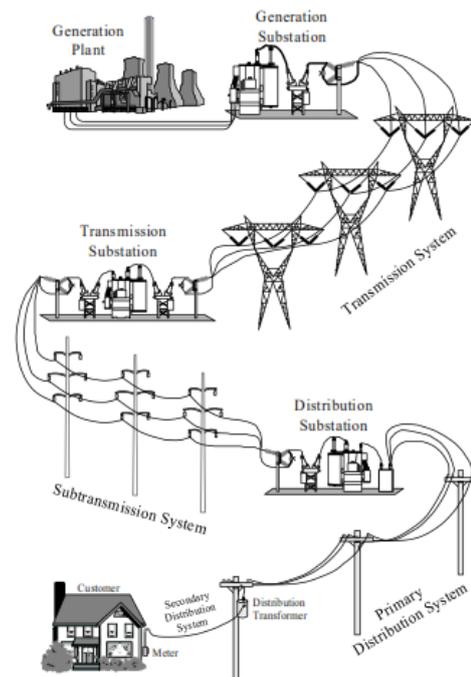
1. Tegangan pada tiap node / bus beban dalam batas yang diizinkan, ini harus sesuai dengan standar SPLN no.72 tahun 1987 batas toleransi tidak melebihi tegangan kirim +5% dan tegangan terima terendah -10% dari tegangan nominal.
2. Kondisi pembebanan trafo sebesar 90% untuk kondisi marginal dan 100% untuk kondisi kritis.
3. Tidak ada peralatan yang melebihi batas.

Untuk mengatasi permasalahan ini perlu dilakukannya rekonfigurasi pada penyulang sibuak sehinggalan drop tegangan dan arus mendekati keseimbangan sehingga rugi-rugi daya dapat diminimalisir.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik terdiri atas sumber dan beban. Sumber atau disebut juga dengan pusat tenaga listrik, mempunyai letak yang berjauhan dengan beban. Untuk pengiriman daya dari pusat tenaga listrik menggunakan saluran transmisi. Ada dua kategori saluran transmisi yaitu saluran udara (*over head line*) dan saluran bawah tanah (*underground*). Di Indonesia saluran transmisi mempunyai beberapa tingkatan tegangan, untuk tegangan 500 kV dikenal sebagai Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET), tegangan 150 kV dikenal sebagai Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), untuk tegangan 70 kV dikenal sebagai sub transmisi. Dari saluran transmisi tegangan diturunkan menjadi 20 kV Saluran Udara Tegangan Menengah atau (SUTM) yang dikenal sebagai saluran distribusi primer di Gardu Induk melalui transformator penurunan tegangan. Kemudian untuk penyalurannya ke konsumen tegangan disalurkan melalui SUTM dan untuk konsumen rumah tangga tegangan diturunkan menjadi 380/220 V melalui transformator distribusi.



Gambar 2.1. Sistem tenaga listrik dan kegiatan penyaluran daya listrik

2.2 Komponen Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung dari sumber pusat tenaga listrik sampai ke konsumen tenaga listrik, bagian – bagian yang masuk kedalam sistem distribusi antara lain :

1. Gardu Induk Distribusi (GI)
2. Jaringan Distribusi Primer
3. Jaringan Distribusi Sekunder
4. Transformator Distribusi

2.3 Studi Aliran Daya

Studi Aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang (Stevenson, 1996). Adapun tujuan dari studi analisa aliran daya antara lain (Sulasno, 1993):

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan.

2. Untuk mengetahui daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam sistem.
3. Untuk mengetahui kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan.
4. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Untuk memperoleh kondisi awal untuk studi-studi selanjutnya seperti studi hubungan singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

Beberapa hal di atas inilah yang sangat diperlukan untuk menganalisa keadaan sekarang. Dari sistem guna perencanaan perluasan sistem yang akan datang. Pentingnya studi aliran daya dalam merencanakan perluasan sistem tenaga dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan listrik yang ada, karena dapat diperoleh keterangan utama, yaitu besar tegangan dan sudut fasa, tegangan pada setiap bus dan daya nyata serta daya reaktif yang mengalir pada setiap saluran / jaringan.

Daya listrik selalu mengalir menuju beban. Oleh karena itu, aliran daya juga merupakan aliran beban. Pada dasarnya beban dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban ini dapat direpresentasikan sebagai impedansi tetap (Z), daya tetap (S), tegangan (V) atau arus (I) yang tetap, tetapi yang lazim pembebanan yang dipilih dengan menggunakan tegangan yang konstan.

Penyelesaian digital untuk masalah aliran beban yang dibahas mengikuti suatu proses perulangan (*iterative proses*). Oleh karena itu sangat sulit dan perlu waktu yang lama apabila dilakukan secara manual.

2.4 Metode Newton-Raphson

Uraian deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variabel atau lebih adalah dasar metoda Newton – Raphson dalam penyelesaian soal – soal aliran beban. Persamaan dibawah ini adalah suatu fungsi dengan dua buah variabel x_1 dan x_2 yang sama dengan suatu konstanta K_1 yang dinyatakan sebagai

$$f_1(x_1, x_2) = K_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

dan persamaan kedua

$$f_2(x_1, x_2) = K_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana K_1 dan K_2 adalah konstanta – konstanta.

Perkirakan jawaban persamaan ini sebagai $X_1^{(0)}$ dan $X_2^{(0)}$. Tanda (0) menunjukkan bahwa nilai – nilai ini adalah perkiraan pertama. Kemudian tetapkan pula nilai $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$ adalah nilai-nilai yang harus ditambahkan pada $X_1^{(0)}$ dan $X_2^{(0)}$ untuk mendapatkan penyelesaian yang benar. Jadi dapat dituliskan

$$K_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) = f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} + x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$K_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) = f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} + x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) \dots\dots\dots(2.4)$$

Selesaikan $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$ dengan menguraikan persamaan – persamaan (2.2) dan (2.3) dalam deret Taylor, menghasilkan

$$K_1 = f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots\dots\dots(2.5)$$

$$K_2 = f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_{(0)} + \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana turunan parsial dengan orde lebih dari satu dalam deret suku – suku uraian telah diaabaikan. Suku $[\partial f_1 / \partial x_1]$ menunjukkan bahwa turunan parsial dihitung untuk nilai – nilai $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$. Suku – suku lain semacam itu dihitung dengan cara yang sama.

Jika turunan parsial dengan orde lebih dari satu diabaikan, persamaan (2.5) dan (2.6) dapat dituliskan kembali dalam bentuk matriks. Yaitu

$$\begin{bmatrix} K_1 - f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ K_2 - f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana matriks bujur sangkar turunan parsial itu dinamakan J “jacobian” atau dalam hal ini $J^{(0)}$ untuk menunjukkan bahwa perkiraan pertama $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$ telah digunakan untuk menghitung nilai turunan parsial dalam angka. Kita

perhatikan bahwa $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ adalah nilai yang dihitung dari K_1 untuk nilai perkiraan $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$, tetapi nilai K_1 yang dihitung ini bukanlah nilai yang ditetapkan oleh persamaan 3.9. Kecuali nilai perkiraan $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$ adalah benar. Jika ditentukan $\Delta K_1^{(0)}$ sebagai nilai K_1 yang dikurangi dengan nilai K_1 yang dihitung, dan mendefinisikan $\Delta K_2^{(0)}$ dengan cara yang sama, diperoleh

$$\begin{bmatrix} \Delta K_1 \\ \Delta K_2 \end{bmatrix} = J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.8)$$

Jadi dengan mendapatkan kebalikan (inverse) jacobian, kita dapat menentukan $\Delta x_1^{(0)}$ dan $\Delta x_2^{(0)}$. tetapi karena uraian deret telah dipotong, penambahan nilai – nilai ini pada perkiraan pertama tidak memberikan jawaban yang benar sehingga harus mencoba lagi dengan memisalkan perkiraan baru $x_1^{(0)}$ dan $x_2^{(0)}$ dimana

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \dots\dots\dots(2.10)$$

dan mengulangi proses itu lagi sehingga pembetulan menjadi sedemikian kecilnya sehingga dapat memenuhi persyaratan indeks ketelitian yang telah dipilih.

2.5 Pengertian Optimasi Heuristic

Optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih penyelesaian layak yang berhubungan dengan nilai – nilai ekstrim dari satu atau lebih nilai objektif pada suatu masalah sampai tidak terdapat solusi ekstrem yang dapat ditemukan. Ketika satu masalah model optimasi dalam proses pencariannya hanya mempertimbangkan satu nilai objektif semata, maka proses pencarian nilai optimalnya dikenal sebagai *single objective optimization problems* atau SOOPs. Terdapat metode – metode *objective* tunggal yang bekerja berdasarkan pedoman dengan asas – asas pencarian deterministik atau yang berbasis kalkulus seperti teknik – teknik berbasis heuristik yang berbasis gradien dan asas – asas pencarian stokastik, yang memberikan ruang metode optimasi untuk menemukan secara bersama pemecahan optimal agar lebih dapat dipercaya. *Evolutionary algorithm* dan *simulated annealing* merupakan dua metode – metode yang stokastik seperti itu. Sementara satu masalah pencarian

bertuk optimum dengan melibatkan *objective* lebih dari satu, maka penentuan nilai solusi – solusi optimalnya dikenal sebagai multi objective optimizations problems atau MOOPs. Sebagian besar fokus yang ada didalam penyelesaian optimasi adalah single objective optimization problems, meskipun kebanyakan permasalahan dunia nyata memerlukan beberapa objective dengan hasil yang *simultaneously*. Tantangan MOOPs adalah berhubungan nilai goodness of fit dari suatu solusi, karena semua solusi mempunyai daerah sendiri sebagai nilai fitness value (biasanya satu per objective). Trade Off bersifat umum, karena setiap solusi bisa baik untuk beberapa sasaran hasil tetapi bukan untuk yang lain. Frekuensi dari berlawanan sasaran hasil sudah membuat multi-objective optimasi satu aspek yang penting dari keteknikan dan desain.

Dalam dekade terakhir banyak pendekatan yang digunakan dalam pencarian nilai optimal seperti tabu searches, simulated annealing (SA), Algoritma Koloni Semu, Fuzzy Logic, Neural Networks (NN), dan algoritma – algoritma evolusiner seperti algoritma genetika. Dimana algoritma genetik disusun berdasar pada mekanisme – mekanisme evolusi biologi dan seleksi teori alam.

2.6 Drop Tegangan

Drop tegangan adalah perbedaan tegangan antara tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Jatuh tegangan selalu terjadi pada jaringan, baik pada pelanggan maupun pada perusahaan listrik. Baik itu pada jaringan Transmisi, Distribusi hingga tegangan rendah. Jatuh tegangan pada saluran distribusi adalah selisih antara tegangan pada sisi kirim (sending end) dan tegangan pada sisi terima (receiving end). Apabila perbedaan nilai tegangan tersebut melebihi standar yang ditentukan maka mutu penyaluran tersebut rendah. Di dalam saluran distribusi persoalan tegangan sangat penting, baik didalam keadaan operasi maupun dalam perencanaan, sehingga harus selesai diperhatikan tegangan pada setiap titik saluran, maka pemilihan penghantar (Penampang Penghantar) harus diperhatikan. Berdasarkan dari standar SPLN 1 : 1978, dimana ditentukan bahwa variasi tegangan pelayanan sebagai akibat jatuh tegangan karena adanya perubahan beban maksimum +5% dan

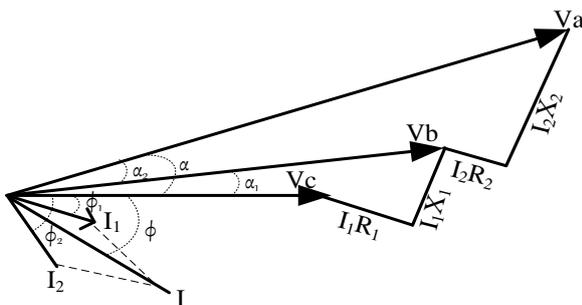
minimum -10%. Drop tegangan pada saluran adalah :

$$\Delta V = I \times Z \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\Delta V = I \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \text{ atau } \Delta V = I(x - jy)(R + jX) \dots\dots\dots(2.12)$$

Akibat panjang saluran mempengaruhi drop tegangan maka :

$$\Delta V = I \times (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times l \text{ atau } \Delta V = I(x - jy)((R + jX) \times l) \dots\dots\dots(2.13)$$



Gambar 2.12 Diagram Fasor Hubungan Tegangan dengan R dan X

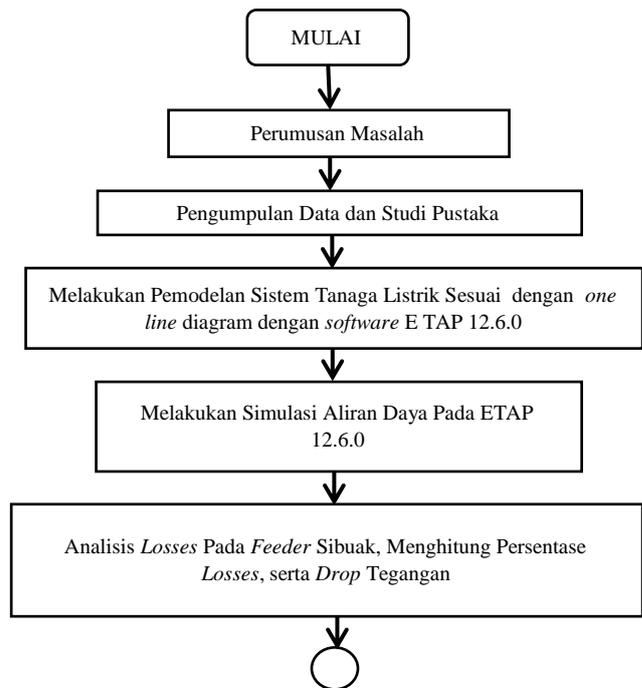
2.7 ETAP

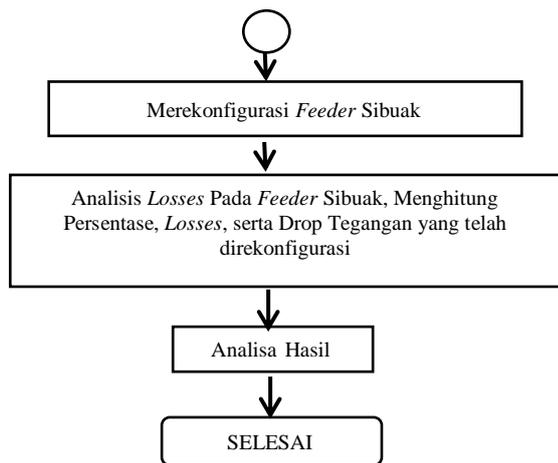
ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik, perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik dan *online* untuk pengolahan data real time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya bermacam-macam, antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pmbangkitan tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas keamanan fasilitas Nuklir di Amerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk iagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain : hubung singkat dan koordinasi relai proteksi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen

rangkaiannya yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada Gambar 3.1 menunjukkan tentang bagaimana proses penelitian. Proses dimulai dengan pengumpulan data, yang berupa data one line diagram dari PLN Persero, Gardu Induk Bangkinang, jumlah dan kapasitas trafo, Jenis dan panjang penghantar yang dibutuhkan adalah impedansi saluran distribusi (R dan X) bus, data yang dibutuhkan adalah rating kV , %V Selanjutnya melakukan melakukan pemodelan sistem tenaga listrik sesuai dengan one line diagram. Selanjutnya melakukan simulasi aliran daya pada software ETAP kemudian melakukan analisis pada feeder sibuak, mnghitung presentase losses serta drop tegangan , lalu melakukan rekonfigurasi pada feeder sibuak dan melakukan analisa lossesnya , hasil rekonfigurasi pada feeder sibuak yang mendapatkan rugi-rugi daya dan jatuh tegangan yang terkecil adalah hasil rekonfigurasi yang terbaik.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Panjang Penyulang Feeder – feeder Gardu Induk Bangkinang

Nama Penyulang	PANJANG KAWAT (METER)					PANJANG KABEL (METER)						
	240	150	90	70	50	35	240	150	120	70	50	35
SIBUAK	-	37.401	-	144.734	-	-	164	4.987	-	-	-	-
SALO	-	73.860	-	-	-	-	50	3.740	-	-	-	-
CANDIKA	-	18.750	-	7.500	-	-	150	1.120	-	-	-	-
PAHLAWAN	-	75.820	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-

Data Pengukuran Arus 2016 Pada GI Gardu Induk Bangkinang

PENYULAN	Arus	TERTINGGI		RATA-RATA PUNCAK	
	Max	(A)	(%)	(A)	(%)
G	(A)	(A)	(%)	(A)	(%)
SIBUAK	440	189	42,90%	162	36,80%
SALO	440	424	96,40%	347	79,00%
CANDIKA	360	144	40,00%	124	34,50%
PAHLAWAN	402	349	86,70%	295	73,40%

Metoda Rekonfigurasi Pada Feeder Sibuk

Metoda yang digunakan dalam rekonfigurasi jaringan ini adalah metoda Heuristic. Metoda Heuristic adalah sebuah teknik yang mengembangkan efisiensi dalam pencarian, namun

dengan kemungkinan mengorbankan kelengkapan (*completeness*). Untuk dapat menerapkan heuristic tersebut dengan baik dalam suatu domain tertentu, diperlukan suatu fungsi heuristic yang digunakan untuk mengevaluasi keadaan – keadaan problema individual dan menentukan seberapa jauh hal tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan solusi yang diinginkan. Beberapa jenis *Heuristic searching* antara lain :

1. Algoritma *Immune*
2. Algoritma Koloni semut
3. Algoritma Genetika
4. Logika Fuzzy
5. *Tabu search*
6. *Generate and Test*
7. *Hill Climbing*
8. *Best First Search*
9. *Alpha Beta Pruning*
10. *Means – End – Analysis*
11. *Constraint Satisfaction*

Metoda Heuristic harus mempertimbangkan aspek – aspek yang mempengaruhi rugi – rugi daya aktif yaitu arus dan panjang saluran. Dimana dalam melakukan rekonfigurasi jaringan ini merupakan proses pembentukan struktur topologi dari penyulang distribusi dengan mengubah status dari switch. Pergantian cabang dengan metoda ini dilakukan dengan pendekatan arus (*current aproach*) dan pendekatan jarak atau panjang saluran (*istance approach*). Langkah – langkah dalam melakukan rekonfigurasi feeder Sibuk adalah :

1. Menghitung aliran daya pada konfigurasi yang akan direkonfigurasi peneliti melakukannya melalui perhitungan manual maupun dengan software yang mendukung , penulis menggunakan software ETAP versi 12.6.0.
2. Rekonfigurasi dilakukan dngan memindahkan beban – beban feeder ke feeder yang berdekatan dngan cara mengubah status LBS (*Load Breaking Switch*) dan mengganti letak posisi LBS.
3. Membandingkan kondisi setelah di rekonfigurasi dengan kondisi sebelumnya.
4. Bandingkan setiap konfigurasi yang telah dibuat. Konfigurasi dengan rugi – rugi dan drop tegangan terkecil merupakan solusi terbaik untuk konfigurasi yang baru.

Hal – hal yang perlu diperhatikan setelah melakukan rekonfigurasi dimana drop tegangan pada penerimaan ujung masih dalam batasan toleransi dimana hal ini harus sesuai dengan standar SPLN no.72 tahun 1987 batas toleransi tidak melebihi tegangan kirim +5% dan tegangan terima terendah -10%, dan kondisi pembebanan trafo daya sebesar 90% untuk kondisi marginal dan 100% untuk kondisi kritikal, tidak melebihi batas Kuat Hantar Arus (KHA) yang telah ditetapkan.

Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan ETAP

Dengan diperolehnya tegangan-tegangan pada tiap bus maka dapat dihitung besarnya aliran daya antara bus-bus yang terhubung. Besarnya arus yang mengalir dari bus *i* ke bus *j* adalah

$$i_{ij} = (V_i - V_j) y_{ij} + V_i \frac{Y_{ij}'}{2} \dots\dots\dots (3.10)$$

Dengan diketahuinya arus yang mengalir dari bus *i* ke bus *j* maka dapat dihitung besarnya aliran daya yang mengalir dari bus *i* ke bus *j* [1].

$$P_{ij} - j Q_{ij} = V_i * I_{ij} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$P_i - j Q_i = V_i^* [(V_i - V_j) y_{ij} + V_i \frac{Y_{ij}'}{2}]$$

$$P_{ij} - j Q_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) y_{ij} + V_i^* V_i \frac{Y_{ij}'}{2} \dots\dots\dots(3.12)$$

Sedangkan aliran daya yang mengalir dari bus *j* ke bus *i* adalah

$$P_{ji} - j Q_{ji} = V_j^* (V_j - V_i) y_{ij} + V_j^* V_j \frac{Y_{ij}'}{2} \dots\dots\dots(3.13)$$

Dengan menjumlahkan secara aljabar antara Persamaan (3.12) dan Persamaan (3.13) maka didapat rugi-rugi pada saluran kawat transmisi *i – j*

Metoda yang dipakai dalam menganalisa aliran daya pada GI Bangkinang dan feeder Sibuaik adalah metoda Newton Raphson.

Rugi-rugi Daya

Rugi – rugi daya adalah besarnya daya yang hilang pada suatu jaringan yang besarnya sama dengan daya yang disalurkan dari sumber yang dikurangi dengan besarnya daya yang diterima. Perbandingan antara besar daya aktif dan dengan daya semu disebut faktor daya (Cos Θ). Faktor daya atau cos Θ ini terjadi karena adanya pergeseran fasa yang disebabkan oleh adanya beban induktif / kumparan dan beban kapasitif. Rugi daya bditentukan oleh faktor daya semakin besar sudut fasa maka semakin kecil rugi daya dan sebaliknya.

$$pf (\cos \varphi) = \frac{P (watt)}{S (VA)} \dots\dots\dots(3.19)$$

Rugi – rugi pada satu fasa dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Rugi daya nyata = $I^2 x R \text{ Watt}$ (3.20)
2. Rugi daya reaktif = $I^2 x X_l \text{ Watt}$ (3.21)

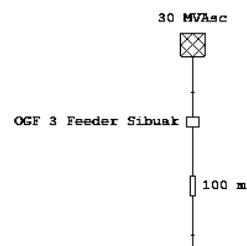
Rugi – rugi daya pada saluran 3 fasa dalam keadaan seimbang dapat dinyatakan sebagai berikut :

1. Rugi daya nyata = $3 x I^2 x R \text{ Watt}$ (3.22)
2. Rugi daya reaktif = $3 x I^2 x X_l \text{ Watt}$ (3.23)

Karena panjang saluran penghantar mempengaruhi untuk terjadinya rugi daya maka persamaan 3.22 dan 3.23 menjadi sebagai berikut :

1. Rugi daya nyata = $3 x I^2 x (R x l) \text{ Watt}$ (3.24)
2. Rugi daya reaktif = $3 x I^2 x (X_l x l) \text{ Watt}$ (3.25)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Topologi Existing



Gambar 4.1 One Line Diagram ETAP OGF 3 Feeder Sibuk

Perhitungan jatuh tegangan pada setiap saluran (jarak antar trafo) dilakukan dari sumber ke titik bus didepannya, untuk menghitung drop tegangan kita menghitung dengan melakukan permisalan dimana titik A adalah sumber dan didepannya adalah titik B. Arus yang mengalir pada Out Going Feeder (OGF) Sibuk adalah 276 A dengan panjang saluran 0,1 KM dengan Impedansi/KM adalah $0,16 + j 0,1224$ dan $\cos \Theta = 0,8$. Untuk mengetahui besarnya drop tegangan pada titik B kita menggunakan rumus persamaan :

$$\Delta V = I(x - jy)(R + jX)$$

karena diketahui panjang saluran maka dengan menggunakan persamaan (2.11) :

$$\begin{aligned} \Delta V &= I(x - jy)((R + jX) \times l) \\ \Delta V &= 276(0,8 - j0,59)((0,16 + j0,1224) \times 0,1) \\ \Delta V &= (220,8 - j162,84)(0,016 + j0,01224) \end{aligned}$$

drop tegangan pada titik AB

$$\begin{aligned} \Delta V &= (220,8 - j162,84)(0,016 + j0,01224) \\ \Delta V &= 3,5328 - j2,702592 - j2,60544 \\ &\quad + 1,931616 \\ \Delta V &= 5,5259616 - j0,097152 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_A \text{ per phase} &= \frac{20356}{\sqrt{3}} + j0 \\ &= 11752,54208 + j0 \text{ volt} \end{aligned}$$

Untuk jatuh tegangan 3 fasa

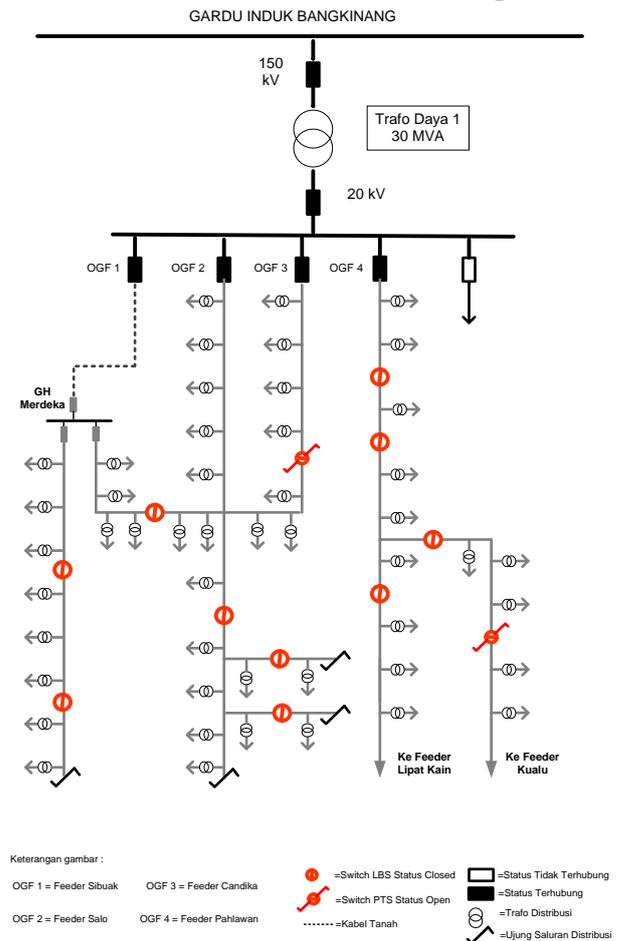
$$\begin{aligned} V_b &= V_A - \text{drop tegangan AB} \\ V_b &= (11752,54208 + j0) - (5,5259616 \\ &\quad + j0,097152) \\ V_b &= 11747,01612 - j0,097152 \\ V_b &= 11747,01612 - < -4,70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B(\text{Line volts}) &= \sqrt{3} \times 11747,01612 \\ &= 20346,42876 \text{ volt} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan rugi daya

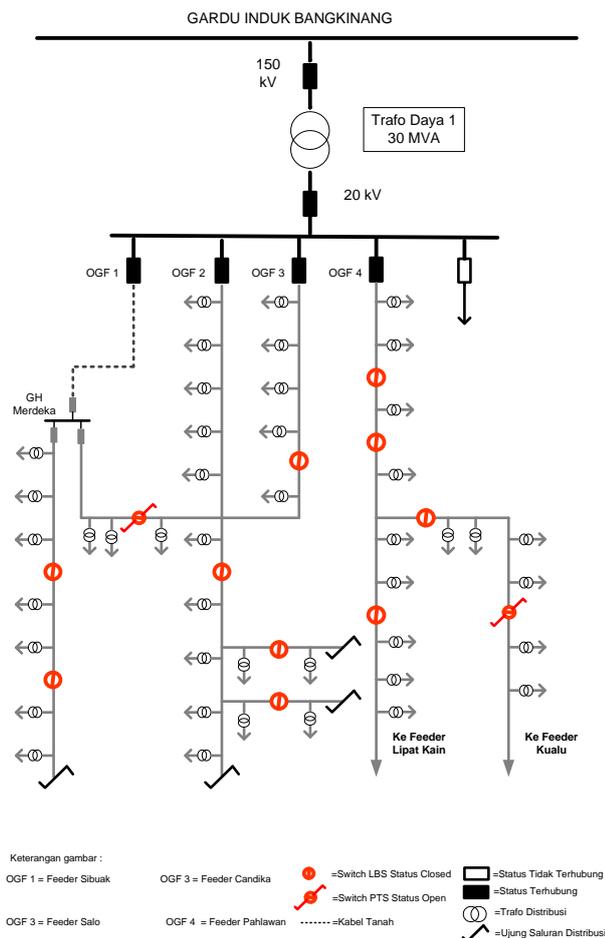
$$\begin{aligned} &= 3 \times I^2 \times (R \times l) \\ &= 3 \times 276^2 \times (0,16 \times 0,1) \\ &= 3656,448 \text{ watt} \end{aligned}$$

4.2 Feeder Sibuk Kondisi Eksisting



Gambar 4.2 Single Line Diagram Feeder Sibuk Sebelum Rekonfigurasi

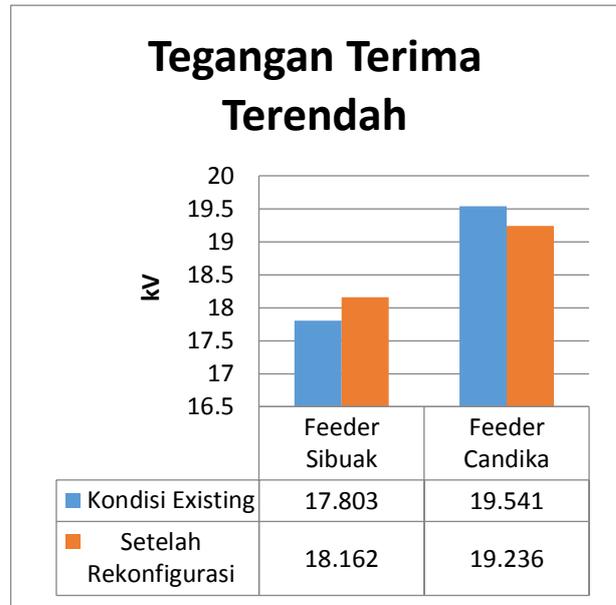
4.3 Rekonfigurasi



Gambar 4.3 Single Line Diagram Feeder Sibuk Setelah Rekonfigurasi

Berdasarkan tabel data kondisi eksisting maka feeder sibuk akan direkonfigurasi dengan pemindahan beban yang melalui tahap perubahan status LBS. Berdasarkan one line diagram Feeder Sibuk memiliki konfigurasi jaringan radial dan berdekatan dengan feeder Candika yang dihubungkan oleh Gardu Hubung Merdeka. Rekonfigurasi dilakukan dengan mengubah LBS dari status Closed menjadi status open. Sehingga yang beban sebelumnya berada pada Feeder Sibuk akan dipindahkan pada Feeder Candika, Selanjutnya akan dilakukan simulasi sehingga tegangan dan rugi – rugi daya baik aktif maupun reaktif dapat diketahui. Gambar Rekonfigurasi dapat dilihat pada gambar diatas.

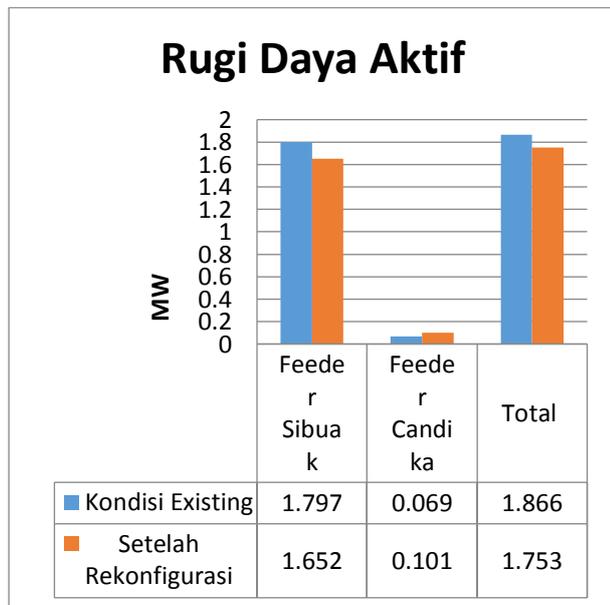
4.4 Analisa Tegangan Rekonfigurasi



Gambar 4.4 Grafik Analisa Tegangan Terima Terendah Rekonfigurasi dengan ETAP

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan terima terendah pada feeder sibuk sebelum rekonfigurasi adalah 17,803 kV rekonfigurasi dan setelah rekonfigurasi adalah 18,162 Kv, jadi setelah melakukan rekonfigurasi Feeder sibuk mengalami kenaikan tegangan sebesar 0,359 kV atau 2,02 %. Pada Feeder Candika sebelum rekonfigurasi adalah 19,541 kV dan setelah rekonfigurasi 19,236 kV, jadi setelah melakukan rekonfigurasi feeder candika mengalami penurunan tegangan 0,305 kV atau 1,56 %.

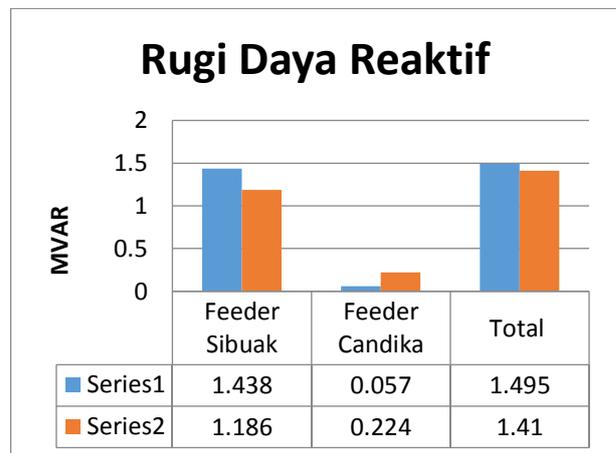
4.5 Analisa Rugi Daya Aktif Rekonfigurasi



Gambar 4.5 Grafik Analisa Rugi Daya Aktif Rekonfigurasi dengan ETAP

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa rugi daya aktif pada feeder sibua sebelum rekonfigurasi adalah 1,797 MW, setelah rekonfigurasi adalah 1,652 MW. Jadi setelah melakukan rekonfigurasi pada feeder sibua mengalami penurunan rugi daya aktif sebesar 0,145 MW atau 8,06 %. Pada Feeder candika sebelum rekonfigurasi sebesar 0,069 MW dan setelah rekonfigurasi 0,101 MW, Jadi setelah melakukan rekonfigurasi feeder candika mengalami kenaikan Rugi daya aktif sebesar 0,032 MW atau 46,3 %.

4.6 Analisa Rugi Daya Reaktif Rekonfigurasi.



Gambar 4.7 Grafik Analisa Rugi Daya Reaktif Rekonfigurasi dengan ETAP

Dari Grafik diatas dapat dilihat bahwa rugi daya reaktif pada feeder sibua sebelum melakukan rekonfigurasi 1,438 MVAR setelah rekonfigurasi sebesar 1,186 MVAR, jadi setelah melakukan rekonfigurasi pada feeder sibua mengalami penurunan rugi daya reaktif sebesar 0,25 MVAR atau sebesar 17,52 %. Pada feeder candika sebelum rekonfigurasi 0,057 MVAR dan setelah rekonfigurasi 0,224 MVAR. Disini feeder candika setelah melakukan rekonfigurasi mengalami kenaikan rugi daya reaktif sebesar 0,167 MVAR atau 292,9 %.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil *running program* dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0 dan analisa rekonfigurasi pada feder sibua untuk mengurangi rugi – rugi daya dan drop tegangan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pada Feeder Sibua sebelum melakukan rekonfigurasi memiliki jatuh tegangan sebesar 17,083 kV , dimana melewati batas toleransi yaitu +5 dan -10%. Setelah melakukan rekonfigurasi Feeder Sibua tegangan terima terndah adalah 18,162 kV dan memiliki rugi daya sebesar 1,652 MW dan 1,639 MVAR yang sudah memenuhi batas toleransi.

2. Total Rugi daya aktif Pada Feeder Sibuk dan Cadika Setelah melakukan rekonfigurasi turun sebesar 0,113 MW.
3. Total Rugi daya Reaktif Pada Feeder Sibuk dan Cadika Mengalami Penurunan sebesar 0,085 MVAR.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan lebih lanjut penelitian ini adalah :

Pada metode yang digunakan penulis menggunakan software ETAP 12.6.0 analisa rekonfigurasi pada Feeder Sibuk untuk mengurangi rugi – rugi daya dan drop tegangan dilakukan Pada satu Feeder sehingga perlu dilakukan untuk gabungan beberapa Feeder dan melibatkan Gardu Induk.

DAFTAR PUSTAKA

- William D. Stevenson, Jr. (1983). *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga
- Silaban, A. 2009. Studi tentang Penggunaan Recloser pada Sistem Jaringan Distribusi 20 kV. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- Sitanggang, M. 2009. Studi Perkiraan Umur Transformator Distribusi dengan Metode Tingkat Tahunan. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara Indonesia.
- Firdaus Aji, Penangsang Ontoseno, Soeprijanto A, Fajar D (2014). Rekonfigurasi Jaringan Distribusi dengan Menggunakan Binary Particle Swarm Optimization Untuk Menaikkan Nilai Indeks Stabilitas Tegangan.
- Tanjung A, 2014. Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Teluk Lembu dan PLTMG Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya dan Drop Tegangan.
- Hakiki Ikhlas, 2011. Analisa Drop Tegangan Pada Feeder Setapak Tegangan Menengah 20 kV Di Gardu Induk Sei-Wei PT. PLN Persero Cabang Singkawang.
- Julen Kartoni, 2016. Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi-rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 Kv.
- Stephan, Adi Soeprijanto, 2011 Rekonfigurasi Jaring Distribusi Untuk Meminimalkan

Kerugian Daya Menggunakan *Particle Swarp Optimization*.

Fayyad M, Rekonfigurasi Jaringan Distribusi Daya Listrik Dengan Metode Algoritma Genetika. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Dr. S. L. Uppal. 1995. Electrical Power(generation, transmission, distribution, switchgear and protection, utilization of electrical energy and electric traction). New Delhi: Khanna Publisher