

Optimalisasi Pengaturan Tegangan Menggunakan *Tap Changer*

Ropin Tiyan Tanto, Ikrima Alfi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi dan Elektro
Universitas Teknologi Yogyakarta
Jl Ringroad Utara Jombor Sleman Yogyakarta
E-mail : tiyanropin@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu hal yang penting untuk diperhatikan dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik adalah besarnya jatuh tegangan sepanjang saluran yang dilalui. Hal tersebut dikarenakan saluran yang cukup panjang sehingga kerugian ekonomis yang ditanggung pihak PLN akan semakin besar. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan tegangan adalah dengan melakukan pengaturan on load tap changer yang terdapat pada transformator daya guna memperbaiki profil tegangan menggunakan simulasi *Electrical Transient Analyzer Program 12.6*. Penelitian tugas akhir ini bertujuan mengetahui pengaruh perubahan tegangan pada tap trafo, pengaruh perbaikan faktor daya serta perbandingan sebelum dan sesudah proses perbaikan di Gardu Induk 150 KV Bantul – Gardu Induk 150 KV Godean. Jadi alokasi daya yang tepat dapat menghasilkan kondisi optimum pada tegangan sisi terima dengan nilai toleransi 5% dari nilai ideal yaitu 20 KV. Berdasarkan hasil penelitian, pengaturan tegangan pada transformator dengan menggunakan tap trafo terbukti bisa mengoptimalkan tegangan walaupun tidak jauh berbeda. Tegangan awal pada bus 3 sebelum pengaturan tap trafo rata-rata satu bulan adalah 19,919 KV, setelah pengaturan tap adalah 20,083 KV. Dengan rata-rata perubahan bus 3 sebesar 0,164 KV. Hasil ini menunjukkan bahwa Gardu Induk Godean mampu melayani beban yang lebih besar.

Kata kunci : Tap Transformator, Transformator, Pengaturan Tegangan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jatuh tegangan pada saluran distribusi merupakan salah satu hal yang penting untuk diperhatikan karena kerugian ekonomis yang ditanggung PLN akan semakin besar. Dikatakan tegangan terima baik jika memiliki tegangan yang tidak melebihi batas toleransi yang sudah ditentukan atau konstan.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan tegangan akibat rugi daya transmisi adalah dengan melakukan pengaturan *tap changer* guna memperbaiki profil tegangan. Mengingat besarnya permintaan beban yang selalu berubah – ubah sesuai kebutuhan pelanggan maka alokasi daya yang tepat dapat menghasilkan kondisi optimum pada saluran transmisi. Optimasi daya tersebut bisa didapatkan melalui beberapa peralatan tegangan tinggi yang dapat digunakan sebagai pengatur tegangan.

Pada penelitian ini, peralatan tegangan tinggi yang menjadi fokus penelitian adalah transformator tenaga khususnya pada bagian tap trafo (*Load Tap Changer*). Melalui simulasi dengan *software Electric Transient And Program (ETAP) 12.6* akan mempermudah proses penelitian dalam melihat dampak yang diberikan oleh tap trafo dalam memperbaiki tegangan di sisi 20 KV.

Sementara itu penelitian dilakukan pada salah satu bagian dari sistem interkoneksi Jawa – Bali

tepatnya pada saluran transmisi 150 KV yang menghubungkan antara Gardu Induk Bantul dan Gardu Induk Godean. Kedua gardu induk tersebut berada dibawah pengawasan PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Tengah Area Pelaksana Pemeliharaan (APP) Salatiga *Basecamp* Yogyakarta. Dari penelitian ini akan dianalisis alokasi daya yang dibutuhkan untuk meningkatkan tegangan yang diteliti dengan menggunakan pengaturan posisi tap trafo (*On Load Tap Changer*) di salah satu gardu induk serta pengaruh perbaikan faktor daya dalam membantu meningkatkan tegangan terima 20 KV.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Bagaimana pengaruh tegangan transformator dengan pengaturan menggunakan tap trafo pada sisi beban?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memperkecil bahasan penelitian berikut ini beberapa batasan yang ditentukan dari penelitian:

1. Peralatan tegangan tinggi yang digunakan sebagai pengatur tegangan untuk perbaikan rugi daya transmisi hanya transformator, khususnya tap trafo (*Tap Changer*).

- Perbaikan parameter sistem hanya terkait perbaikan tegangan dan aliran daya sistem tidak membahas perbaikan frekuensi.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- Mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan tap trafo guna memperbaiki profil tegangan pada sisi beban.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Studi dan Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan studi untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi tersebut guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan (Cekmas Cekdin, 2010).

Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran dan tegangan sistem pada terminal tertentu atau bus tertentu. Di dalam studi aliran daya, bus – bus dibagi dalam 3 macam, yaitu :

- Slack bus* atau *swing bus* atau bus referensi
- Voltage controlled bus* atau bus generator
- Load bus* atau bus beban

Pada setiap bus terdapat 4 besaran, yaitu :

- Daya real atau daya aktif (P)
- Daya Reaktif (Q)
- Harga skalar tegangan |V|
- Sudut fasa tegangan (θ)

Pada setiap bus hanya ada 2 macam besaran yang ditentukan sedangkan kedua besaran yang lain merupakan hasil akhir dari perhitungan. Besaran yang ditentukan itu adalah :

- Slack bus* ; harga skalar |V| dan sudut fasanya (θ)
- Voltage controlled bus* ; daya aktif (P) dan tegangan |V|
- Load bus* ; daya aktif (P) dan daya reaktif (Q)

Sementara itu untuk menghitung besarnya aliran daya aktif dan daya reaktif pada suatu sistem tenaga listrik dapat menggunakan rumus berikut ini (Cekmas Cekdin, 2010) :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \text{ atau } I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} \quad (2.1)$$

Setelah dijabarkan kembali, persamaan menjadi :

$$\frac{P_i + jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.2)$$

Keterangan :

P_i = Daya aktif pada bus i

Q_i = Daya reaktif pada bus i

V_{ij} = Tegangan pada bus i atau j

I_i = Arus pada bus i

y_{ij} = Admitansi saluran antara bus i dan j

Dari hubungan di atas perhitungan aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan teknik iterasi (Cekmas Cekdin, 2010).

2.2 Metode Newton-Raphson

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan aliran daya adalah dengan metode *Newton-Raphson*. Persamaan sistem dengan daya aktif dan reaktif pada bus p :

$$P_p - jQ_p = V_p I_p \quad (2.3)$$

Dengan menjabarkan persamaan di atas ke dalam bentuk polar, selanjutnya memisahkan bagian *real* dan imajiner akan diperoleh persamaan daya pada bus p sebagai berikut (Cekmas Cekdin, 2010) :

$$V_p^b - \sum_{q=1}^n V_q^b \cos(\theta_{pq} + \delta_q - \delta_p) = \sum_{q=1}^n |Y_{pq}| V_p^b V_q^b \cos(\theta_{pq} + \delta_q - \delta_p) \quad (2.4)$$

$$P_p = \sum_{q=1}^n |Y_{pq}| V_p V_q \cos(\theta_{pq} + \delta_q - \delta_p) \quad (2.5)$$

$$Q_p = -\sum_{q=1}^n |Y_{pq}| V_p V_q \sin(\theta_{pq} + \delta_q - \delta_p) \quad (2.6)$$

Keterangan :

P_p = Daya aktif pada bus p

Q_p = Daya reaktif pada bus p

V_{pq} = Tegangan pada bus p atau q

I_p = Arus pada bus p

Y_{pq} = Admitansi saluran antara bus p dan q

Persamaan di atas membentuk persamaan aljabar *nonlinear*. Besarnya variabel dinyatakan dalam satuan per unit dan untuk sudut fasa dinyatakan dalam satuan radian. Persamaan di atas dikembangkan dari deret *taylor* seperti persamaan berikut ini (Djiteng Marsudi, 2015) :

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2|^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta |V_n|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Matrik *Jacobian* memberikan perbandingan *linear* antara perubahan pada sudut tegangan $\Delta \delta$ dan besarnya tegangan $\Delta |V|$ dengan sedikit perubahan pada daya aktif ΔP dan daya reaktif ΔQ . Dalam bentuk singkat dapat ditulis seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J1 & J2 \\ J3 & J4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.3 Hal yang Mempengaruhi Tegangan dalam Sistem

Dalam penyediaan tenaga listrik, tegangan yang konstan merupakan salah satu syarat utama yang harus dipenuhi. Oleh karena itu perlu penanganan tersendiri, pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Dalam sistem tenaga listrik, tegangan dipengaruhi oleh (Djiteng Marsudi, 2015) :

- Arus penguatan generator
- Daya reaktif pada beban

3. Daya reaktif dalam sistem, seperti kondensator dan reaktor
4. Posisi tap transformator

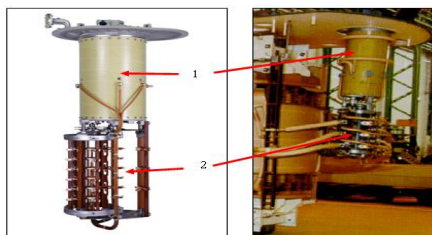
Mengatur tegangan pada suatu titik dalam sistem tenaga listrik akan lebih mudah jika pada titik tersebut terdapat sumber daya reaktif yang bisa diatur. Mengingat kondisi beban yang selalu berubah, jika terjadi penambahan daya reaktif pada beban maka harus diikuti penambahan pembangkitan daya reaktif pada sistem sehingga keadaan tegangan dapat stabil. Selain itu dapat diketahui jika besar tegangan pada suatu titik di sistem dapat dipengaruhi oleh perubahan daya reaktif pada titik tersebut maupun titik lainnya di dalam sistem tenaga listrik.

2.4 On Load Tap Changer (OLTC)

Salah satu bahasan penting dalam penelitian ini adalah peran dari *On Load Tap Changer (OLTC)*. *OLTC* merupakan peralatan bagian dari suatu trafo tenaga. Dengan adanya *OLTC*, fungsi dari suatu trafo tenaga mampu menjaga kestabilan tegangan output pada suatu trafo tenaga ke pusat beban. Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan disebut *Tap Changer*.

Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (*On Load Tap Changer*) atau saat trafo tidak berbeban (*Off Load Tap Changer*). Sehingga dapat disimpulkan, proses perubahan ratio antara belitan primer dengan sekunder dilakukan saat trafo tenaga tersebut dalam posisi berbeban atau menyuplai daya listrik ke pusat beban. Suatu Tap Changer terdiri dari beberapa rangkaian/ komponen, yaitu :

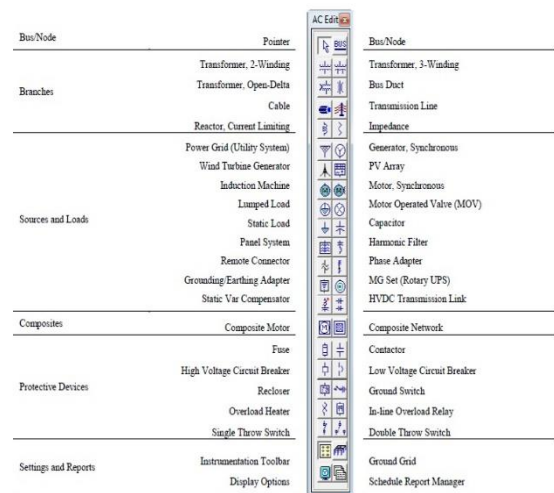
- Selector Switch
- Diverter Switch
- Tahanan Transisi



Gambar 2.1 Konstruksi *Tap Changer*
Keterangan : (1) *Diverter Switch* (2) *Selector Switch*

2.5 Electric Transient And Program (ETAP) 12.6

ETAP merupakan perangkat lunak analisis paling handal untuk pemodelan dan pengujian sistem tenaga listrik yang ada. *ETAP* dapat digunakan untuk monitoring dan simulasi data *real-time*, optimalisasi, sistem manajemen energi dan pelepasan beban dengan cepat. Berikut ini akan dijelaskan beberapa bagian yang ada di dalam *ETAP 12.6* :



Gambar 2.2 Peralatan Sistem Tenaga Listrik dalam *ETAP*

Keterangan :

Bus/ Node : Busbar/ Rel Daya

Transformer, 2-Winding : Transformator, 2 Belitan

Transformer, 3-Winding : Transformator, 3 Belitan

Transmission Line : Saluran Transmisi

Power Grid : Sumber Tenaga selain Generator

Lumper Load : Beban Listrik (Beban Industri)

Static Load : Beban Listrik (Beban Perumahan)

High Voltage Circuit Breaker : Pemutus Tenaga

Capacitor : Kapasitor Sistem Tenaga

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Selama proses penelitian, berikut ini dijabarkan peralatan tegangan tinggi yang digunakan sebagai bahan penelitian serta *software* yang digunakan untuk mengolah data penelitian. Diantaranya :

1. *ETAP 12.6.0 (Electric Transient And Program)*

Merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun distribusi.



Gambar 3.1 Logo Perangkat Lunak ETAP

Pada penelitian ini, penggunaan perangkat lunak (*Software*) ETAP digunakan untuk tujuan penelitian sebagai berikut :

- Membuat diagram garis tunggal pada sistem tenaga listrik yang sedang diteliti.
- Melakukan analisis aliran daya pada kondisi sebelum dan setelah pengaturan tap trafo.
- Melakukan simulasi pengaturan tap trafo untuk mendapatkan alokasi daya reaktif yang optimal pada saluran transmisi.
- Melakukan simulasi perbaikan faktor daya pada sisi beban

2. Transformator Tenaga (*Power Transformer*)

Tabel 3.1 Karakteristik Trafo II di Gardu Induk Godean

	HV	LV	TERTIARY
Merk	ABB		
Type	SDOOR 30000/170		
Rated Power	30 MVA	30 MVA	10 MVA
Rated Voltage	150 KV	22 KV	10 KV
Rated Current	115,5 A	787 A	333 A
Insulation Level	650/275	125/50	75/28
Cooling	ONAN		
Winding	YNyn0+d		
Impedance	12.7 % (Tap 14)		

3.2 Proses Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, penulis melalui beberapa proses untuk menyelesaikan penelitian, yaitu :

1. Pengumpulan Data

Pada tahap ini peneliti mencari data yang berhubungan dengan aliran daya pada saluran transmisi yang akan diteliti. Selain itu melakukan studi pustaka untuk dijadikan referensi dan membandingkan pada instansi terkait.

2. Simulasi dan Analisis Data

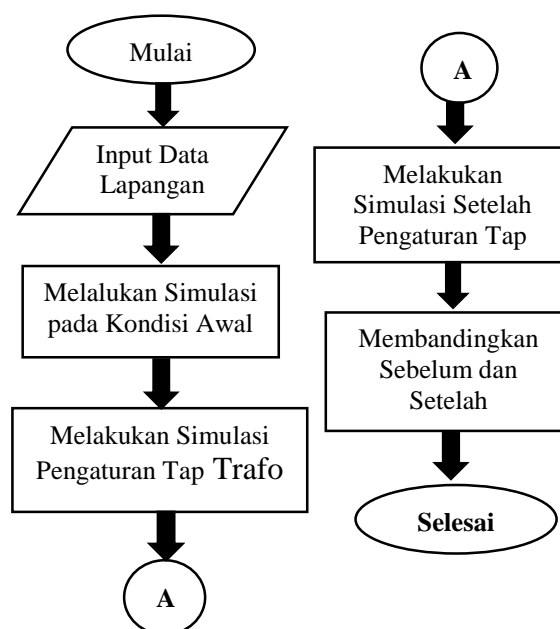
Setelah diketahui data yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi tegangan pada kondisi sebelum pengaturan tap trafo dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Setelah

dilakukan pengaturan tap trafo, kemudian melakukan simulasi tegangan kembali pada kondisi setelah pengaturan tap trafo untuk membandingkan tegangan dengan kondisi awal. Terakhir dengan melakukan simulasi perbaikan faktor daya akan dilihat dampak yang mampu diberikan dalam mengoptimalkan tegangan.

3. Evaluasi Data Hasil Penelitian

Setelah mendapatkan hasil penelitian, langkah selanjutnya adalah mengambil kesimpulan dari simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Selain itu juga memberikan saran untuk penelitian lainnya yang terkait dengan penelitian ini.

Setelah mengetahui proses penelitian seperti dijelaskan di atas. Berikutnya akan dijelaskan mengenai jalannya penelitian pada tugas akhir ini. Proses demi proses penelitian hingga mencapai hasil akan dijabarkan secara rinci ke dalam diagram alir (*Flow Chart*) di bawah ini :



Gambar 3.3 Flowchart Penelitian

3.3 Kesulitan – Kesulitan

Dalam melakukan pengambilan data selama proses penelitian, peneliti mengalami beberapa kesulitan untuk memperoleh data. Diantaranya :

1. Beberapa alat ukur analog dalam beberapa skala

tertentu sulit dibaca. Menyebabkan ketepatan angka pengukuran menjadi berkurang. Hal tersebut dapat diatasi dengan melihat dari alat ukur digital.

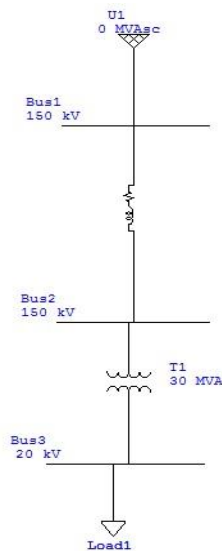
2. Beberapa data penelitian yang dibutuhkan untuk

melengkapi penelitian merupakan data peralatan yang tidak terdapat nameplatnya sehingga kesulitan untuk mengetahui karakteristik dari peralatan tersebut. Hal tersebut dapat diatasi dengan melihat buku pedoman peralatan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Tegangan Sebelum Pengaturan Tap Transformator

Pada penelitian ini, langkah pertama yang akan dilakukan adalah dengan melakukan analisis tegangan pada kondisi sebelum dilakukannya pengaturan tap transformator. Analisis tegangan ini dilakukan dengan melakukan simulasi pada *software ETAP 12.6*. Langkah pertama yang umum dilakukan dalam melakukan analisis aliran daya adalah membuat diagram satu garis dari sistem yang akan diteliti. Berdasarkan peninjauan lapangan yang telah dilakukan peneliti maka diagram satu garis dari sistem yang diteliti akan seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini, hasil penggambaran dengan *software ETAP 12.6* :



Gambar 4.1 Diagram Satu Garis Saluran Transmisi 150 KV Gardu Induk Bantul – Gardu Induk Godean

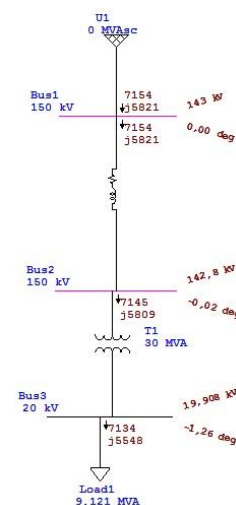
Berdasarkan gambar 4.1 di atas, maka untuk selanjutnya dapat dilakukan analisis tegangan dengan memasukkan data jaringan yang telah didapatkan dari hasil peninjauan lapangan. Pada gambar 4.1 tersebut, Bus 1 merupakan bus 150 KV yang ada di Gardu Induk Bantul dan Bus 2 merupakan bus 150 KV yang ada di Gardu Induk Godean sedangkan Bus 3 merupakan bus 20 KV yang ada di Gardu Induk Godean. Trafo 1 merupakan transformator tenaga (*step down*) 150KV/20 KV yang ada di Gardu Induk Godean yang terhubung dengan Bus 2.

Berikut ini merupakan data lapangan yang didapatkan dari penelitian pada Gardu Induk Bantul pada bulan maret. Data lapangan berikut ini akan diolah untuk mengetahui aliran daya dan tegangan sebelum kondisi pengaturan tap transformator dengan menggunakan *software ETAP 12.6*.

Tabel 4.1 Data Beban Bulan Maret Gardu Induk Bantul – Godean

Tanggal	Gardu Induk			
	Bantul		Godean	
	V(KV)	V(KV)	P(MW)	Q (MVAR)
2/3/2016	143	140	7,1	5,6
4/3/2016	144	140	7,2	4
7/3/2016	143	139	7,1	4,9
8/3/2016	140	138	7,1	4,8
10/3/2016	142	139	7,2	5,2
11/3/2016	144	140	7,08	5,04
14/3/2016	141	138	7,08	5,04
15/3/2016	143	140	7,1	5,2
23/3/2016	144	140	7,1	5,2
24/3/2016	143	140	7,1	4,8

Pada tabel 4.1 di atas diketahui jika ada beberapa besaran sistem tenaga yang dibutuhkan dalam melakukan analisis tegangan dengan menggunakan *software ETAP 12.6*. Pada Gardu Induk Bantul besaran yang dibutuhkan hanya besar tegangan pada bus. Hal ini dikarenakan, bus di Gardu Induk Bantul merupakan *Swing Bus*. Sedangkan pada Gardu Induk Godean besaran yang dibutuhkan adalah besaran tegangan, daya aktif dan daya reaktifnya. Hal ini dikarenakan, bus di Gardu Induk Godean merupakan *Load Bus*. Nilai daya aktif dan daya reaktif tersebut merupakan nilai yang terukur pada bagian primer dari Transformator 1. Selain data di atas, data penelitian lainnya yang digunakan dalam melakukan simulasi analisis tegangan adalah panjang saluran transmisi. Berdasarkan hasil peninjauan, panjang saluran transmisi antara Gardu Induk Bantul – Gardu Induk Godean adalah 13,21 km. Selanjutnya setelah semua data penelitian yang dibutuhkan sudah lengkap, berikut ini hasil dari analisis tegangan dengan menggunakan metode *Newton-Rapson* pada *ETAP 12.6* :



Gambar 4.2 Hasil Analisis tegangan 2/3/2016 dengan *ETAP* Sebelum Pengaturan Tap Transformator

Berdasarkan gambar 4.2, dapat diketahui kondisi sistem sebelum dilakukannya pengaturan tap transformator. Secara rinci hasil analisis tegangan tersebut seperti dijabarkan dalam tabel di bawah ini

Tabel 4.2 Hasil Analisis Tegangan Sebelum Pengaturan Tap Transformator

Tanggal	Bus 2	Bus 3
	$ V_2 $ (KV)	$ V_3 $ (KV)
2/3/2016	142,8	19,908
4/3/2016	143,8	19,988
7/3/2016	142,8	19,954
8/3/2016	139,8	19,866
10/3/2016	141,8	19,958
11/3/2016	143,8	19,922
14/3/2016	142,8	19,945
15/3/2016	142,8	19,935
23/3/2016	143,8	19,911
24/3/2016	142,8	19,96

Berdasarkan tabel 4.2 melalui simulasi dengan ETAP dapat diketahui persentase tegangan sistem pada bus 2 dan bus 3.

Kemudian untuk mengetahui besarnya tegangan pada sistem ini dapat diketahui dengan membandingkan hasil analisis tegangan pada tabel 4.2 tersebut dengan hasil analisis tegangan setelah pengaturan tap transformator, seperti yang akan dijelaskan pada halaman berikutnya. Peningkatan tegangan sistem dapat diketahui setelah melakukan perbandingan dengan hasil analisis tegangan setelah pengaturan tap transformator.

4.2 Setelah Pengaturan Tap Transformator

Pada penelitian ini akan dilakukan pengaturan tap transformator untuk mendapatkan alokasi tegangan yang optimum pada sistem sesuai batas toleransi (5%). Berdasarkan pada gambar 3.3 diketahui rangkaian tap transformator pada trafo II di Gardu Induk Godean. Berikut ini ditampilkan data lapangan terkait posisi tap transformator serta simulasi perubahan posisi tap transformator yang akan dilakukan :

Tabel 4.3 Posisi Tap Transformer

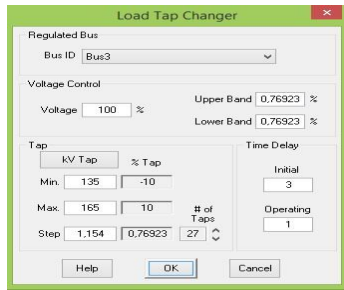
Tanggal	AVR			Simulasi Rencana Perubahan		
	Tap	Tap Selector Connect	Reverse Connect	Tap	Tap Selector Connect	Reverse Connect
2/3/2016	18	13	3 – 17	17	14	3 – 17
4/3/2016	16	15	3 – 17	15	16	3 – 17
7/3/2016	17	14	3 – 17	16	15	3 – 17
8/3/2016	18	13	3 – 17	17	14	3 – 17
10/3/2016	18	13	3 – 17	17	14	3 – 17
11/3/2016	17	14	3 – 17	16	15	3 – 17
14/3/2016	18	13	3 – 17	17	14	3 – 17
15/3/2016	17	14	3 – 17	16	15	3 – 17
23/3/2016	18	13	3 – 17	17	16	3 – 17
24/3/2016	17	14	3 – 17	16	15	3 – 17

Berdasarkan pada tabel 4.3 diketahui kondisi awal posisi tap transformator berada dikisaran angka 16 – 18. Setelah dilakukan simulasi perubahan, posisi tap akan dirubah 1 tingkat pada kisaran angka 15 – 17. Karakteristik yang dibutuhkan adalah kapasitas transformator sebesar 30 MVA dengan jumlah tap 27 posisi. Pengaturan tap trafo seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.3 Pengaturan Load Tap Changer (LTC) / Voltage Regulator

Pada gambar 4.3 di atas pada toolbar Tap, pilih bagian Load Tap Changer (LTC) / Voltage Regulator. Kemudian centang pada bagian AVR pada primary atau secondary, sesuai dengan gambar 3.3 rangkaian tap changer berada pada bagian primer maka yang dicentang harus bagian primary. Selanjutnya untuk mengatur jumlah tap, klik LTC dan akan muncul kotak dialog untuk pengaturan tap changer. Pada bagian #of taps tersebut diisi dengan 27 menyesuaikan dengan jumlah yang ada. Lebih jelasnya seperti ditunjukkan oleh gambar 4.4 di bawah ini:

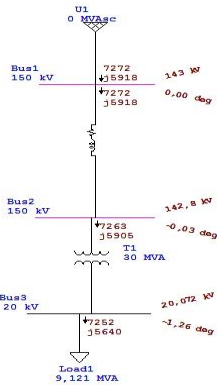


Gambar 4.4 Pengaturan Karakteristik Load Tap Changer

Pengaturan posisi tap pada kondisi awal dilakukan dengan menggunakan AVR, sedangkan simulasi pengaturan tap dilakukan dengan mengatur bagian *Manual or Operating Tap*. Setelah itu melakukan kembali analisis aliran daya dengan menggunakan metode yang sama yaitu *Newton-Raphson* sehingga dapat diketahui perubahan parameter sistem.

4.3 Hasil Analisis Setelah Pengaturan Tap Transformator

Secara umum kondisi sistem tidak banyak berubah pada simulasi aliran daya kedua ini. Selain itu, peran setiap bus juga masih tetap sama. Bus 1 sebagai *Swing Bus* dengan besaran yang ditentukan adalah besar tegangan $|V|$ dan sudut fasa δ . Sedangkan Bus 2 masih tetap sebagai *Load Bus* dengan besaran yang ditentukan adalah nilai daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Sehingga dengan metode *Newton-Raphson* didapatkan hasil dengan ETAP seperti berikut ini :



Gambar 4.5 Hasil Analisis tegangan 2/3/2016 dengan ETAP Setelah Pengaturan Tap Transformator

Dari gambar 4.5, dapat diketahui kondisi sistem setelah dilakukannya pengaturan tap transformator. Seperti dijabarkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 4.4 Hasil Analisis Tegangan Setelah Pengaturan Tap Transformator

Tanggal	Bus 2	Bus 3
	$ V_2 $ (kV)	$ V_3 $ (kV)
2/3/2016	142,8	20,072
4/3/2016	143,8	20,152
7/3/2016	142,8	20,118
8/3/2016	139,8	20,033
10/3/2016	141,8	20,123
11/3/2016	143,8	20,085
14/3/2016	142,8	20,109
15/3/2016	142,8	20,099
23/3/2016	143,8	20,074
24/3/2016	142,8	20,125

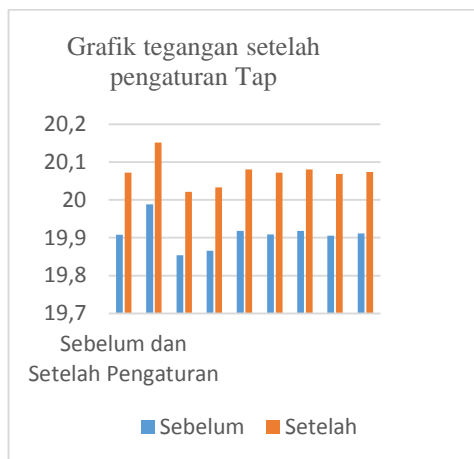
Berdasarkan hasil analisis, tegangan sisi beban saat sebelum dan setelah pengaturan tap mengalami perubahan, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Dengan mengubah posisi tap 1 tingkat berdampak pada meningkatnya kemampuan sistem untuk mensuplai daya ke beban pada bus 3. Berdasarkan pada tabel 4.4 maka perbaikan profil tegangan terjadi pada bus 3. Secara rinci ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.5 Perbaikan Profil Tegangan setelah Pengaturan Tap Transformator

Tanggal	Sebelum		Setelah		Perubahan $ V_3 $ (kV)
	$ V_2 $ (kV)	$ V_3 $ (kV)	$ V_2 $ (kV)	$ V_3 $ (kV)	
2/3/2016	142,8	19,908	142,8	20,072	0,164
4/3/2016	143,8	19,988	143,8	20,152	0,164
7/3/2016	142,8	19,854	142,8	20,021	0,167
8/3/2016	139,8	19,866	139,8	20,033	0,167
10/3/2016	141,8	19,918	141,8	20,081	0,163
11/3/2016	143,8	19,909	143,8	20,072	0,163
14/3/2016	142,8	19,918	142,8	20,081	0,163
15/3/2016	142,8	19,905	142,8	20,069	0,164
23/3/2016	143,8	19,911	143,8	20,074	0,163
24/3/2016	142,8	19,912	142,8	20,076	0,165
Rata - rata	142,8	19,919	142,8	20,083	0,164

Berdasarkan tabel 4.5 diatas, perbaikan profil tegangan pada bus 3 sebesar 0,164 KV menunjukkan bahwa setelah perbaikan tap trafo, tegangan meningkat dan mendekati batas ideal yaitu 20 KV.



Gambar 4.6 Perbaikan Profil Tegangan setelah Pengaturan Tap Transformator

Setelah didapatkan hasil tegangan terbaru seperti ditunjukkan pada tabel 4.5 tersebut, selanjutnya adalah membandingkannya dengan data awal (AVR).

Nilai perubahan yang didapat pada tabel 4.5 semakin besar jika dibandingkan dengan tabel 4.2. Sehingga dapat disimpulkan, pengalokasian tegangan terbukti dapat memperbaiki profil tegangan tidak melebihi batas toleransi (5%) dan dikatakan ideal. Dengan mengatur posisi tap transformator akan didapatkan tegangan penerima pada bus 3 yang semakin besar, hal tersebut menandakan bahwa gardu induk dapat melayani beban yang lebih besar.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian penelitian Tugas Akhir dengan judul “Optimalisasi Pengaturan Tegangan Menggunakan Tap Charger”, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pengaturan tegangan pada transformator menggunakan tap trafo dengan menaikkan satu tingkat posisi tap terbukti dapat mengoptimalkan tegangan sisi terima, yang sebelumnya sebesar rata-rata 19,919 KV menjadi sebesar rata-rata 20,083 KV dengan nilai perubahan 0,164 KV dan tidak melebihi batas toleransi 5%.

5.2 Saran

Penelitian yang dilakukan ini masih belum sempurna, sehingga untuk memperbaiki dan menyempurnakan analisa yang sudah dibuat, ada beberapa saran yang dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya agar analisa yang dibuat bisa sempurna, berikut adalah beberapa saran yang penulis dapat berikan:

1. Analisa yang dikerjakan hanya berdasarkan data yang sudah disimpan satu bulan

sebelumnya, sebaiknya untuk peneliti selanjutnya pengambilan data dilakukan secara *real time* perhari selama satu bulan atau sesuai yang dibutuhkan.

2. Untuk mengembangkan system sebaiknya pada sistem yang akan dibuat oleh peneliti selanjutnya dilakukan dengan software yang berbeda, sehingga lebih bervariasi untuk bahan referensi peneliti yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abadi, A, (2015), *Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sumbar Menggunakan Kapasitor Bank dan Tap Transformator*. Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol 4, No. 2, September
- [2] Ahmad, A.N.R, (2014), *Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150KV/20KV di Gardu Induk Ungaran*, S.T., Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang, Semarang
- [3] Cekdin, C dan Barlian, T, (2013), *Transmisi Daya Elektrik*, Yogyakarta: Andi Yogyakarta
- [4] Despa, D, (2009), *Pengaturan Aliran Daya Reaktif Dengan Transformator Regulasi Jenis Pengatur Tegangan Pada Jaringan Sistem Tenaga Listrik*, Jurnal Rekayasa dan Teknik Elektro, Volume 3, No.1, Januari.
- [5] Djiteng, M, (2015), *Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi Ke 3*, Jakarta: Graha Ilmu.
- [6] Kadir, A, (1989), *Transformator*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo
- [7] Lawang, O, (2003), *Optimasi Load Tap Charging Transformer Menggunakan Algoritma Genetik Guna Meminimalisasi Rugi Daya Transmisi*. Tugas Akhir, S.T., Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang.
- [8] PT PLN (Persero), (2010), *Final Pedoman O&M Transformator Tenaga*, Jakarta: Perusahaan Listrik Negara
- [9] Siregar, R.H dan Syahrizal, (2010), *Analisa Pengaturan Tegangan Menggunakan On Load Tap Changer Dalam Meningkatkan Tegangan Terima 20 Kv*, S.T., Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- [10] Utama, N.P.S, (2008), *Memperbaiki Profil Tegangan di Sistem Distribusi Primer Dengan Kapasitor Shunt*, Laporan Akhir Studi, S.T., Teknik Elektro, Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran, Bali.