

ANALISA PERBAIKAN PROFIL TEGANGAN SISTEM TENAGA LISTRIK SUMBAR MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK DAN TAP TRANSFORMATOR

Akbar Abadi¹ dan Syafii²

¹Mahasiswa Program Studi S2 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

e-mail: akbar_abadi@yahoo.co.id

Abstrak— Evaluasi stabilitas tegangan perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi performansi sistem penyaluran tenaga listrik. Perhitungan analisa aliran daya digunakan untuk menentukan parameter-parameter penting sistem tenaga listrik dalam keadaan tunak. Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi-rugi daya yang kecil. Perbaikan profil tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan pengatur tegangan, yaitu kapasitor bank dan tap transformator. Melalui simulasi menggunakan *PowerWorld* simulator akan diperoleh nilai dan lokasi kapasitor bank dan tap transformator yang tepat untuk memperbaiki performansi sistem. Sistem kelistrikan Sumbar digunakan dalam penelitian ini. Dari hasil simulasi, untuk kondisi awal sistem, terdapat beberapa bus yang mengalami drop tegangan dengan total rugi-rugi sistem sebesar 14,4 MW. Setelah penambahan kapasitor, tegangan sistem mengalami peningkatan yang signifikan sehingga tidak ada yang melewati nilai toleransi dan rugi-rugi sistem turun menjadi 14,1 MW. Sedangkan untuk pengaturan rasio tap transformator, tegangan sistem tidak mengalami perubahan yang begitu besar, kecuali pada sisi sekunder bus yang diatur dengan rugi-rugi sistem hampir sama yaitu sebesar 14,4 MW. Untuk kasus penambahan kapasitor dan pengaturan rasio tap transformator sekaligus, tidak ada lagi drop tegangan yang melebihi dari 5 % dan total rugi-rugi sistem turun menjadi 13,9 MW.

Kata Kunci : Stabilitas tegangan, Kapasitor bank, Tap transformator, Drop tegangan, dan Rugi-rugi sistem.

Abstract—Voltage stability evaluation is needed to get the information of electrical power distribution system performance. Power flow calculation is used to determine the important parameters of power system in a steady state. An electric power system must have voltage value that does not exceed the limits of tolerance and the power loss as well as small. The improvement of voltage profile can be done by using voltage-control equipments, such as capacitor banks and transformer tap. Through simulation using the *PowerWorld* simulator, the value and location of capacitor banks and transformers tap will obtained in order to improve system performance. Sumbar electrical system was used in this study. From the simulation results, for the initial condition of the system, there are several buses that have voltage drop with total system losses 14.4 MW. After capacitor added, the system voltage has increased significantly so that no one passed the value of tolerance and the losses in the system down to 14.1 MW. As for setting the ratio of tap transformer, voltage system did not change so much, except on the secondary side of the transformer bus arranged with system losses almost the same that equal to 14.4 MW. For the case of the addition of the capacitor and transformer tap settings in the same time, the voltage drop no longer exceeds 5% and the total system losses decreased to 13.9 MW.

Keywords : Voltage stability, Capacitor bank, Tap transformer, Voltage drop, and System losses.

1. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang mempengaruhi hidup dan kehidupan manusia saat ini. Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan menghasilkan penemuan-penemuan baru yang pada dasarnya membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Dengan kata lain, semakin bertambah pula kebutuhan akan adanya listrik dalam kehidupan.

Kebutuhan di berbagai daerah dari waktu ke waktu selalu berbeda tergantung pada pemakaian listrik di daerah tersebut, sehingga penyediaan tenaga listrik dan alokasi pembangkit yang digunakan juga berbeda di daerah satu dan daerah lainnya [1]

Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari banyak generator, transformator, elemen aktif dan pasif serta peralatan lainnya yang terinterkoneksi dalam jaringan transmisi antara beberapa buah

Sistem tenaga listrik terdiri dari 3 komponen utama yaitu pembangkit tenaga listrik, transmisi dan distribusi. Pada pusat listrik dilakukan pembangkitan tenaga dengan cara memanfaatkan generator sinkron [5]. Saluran-saluran transmisi merupakan rantai penghubung antara pusat-pusat pembangkit listrik dan sistem-sistem distribusi, dan melalui hubungan-hubungan antar sistem dapat pula menuju ke sistem tenaga yang lain. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban-beban yang terpisah antara satu dengan yang lainnya menggunakan saluran transmisi.

Kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat ditetapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan (*limit thermal*) dari penghantar, jatuh tegangan (*voltage drop*) yang diperbolehkan, keterandalan, dan persyaratan-persyaratan kestabilan sistem (*system stability*), yaitu penjagaan bahwa mesin-mesin pada sistem tersebut tetap berjalan serempak satu terhadap yang lain. Kebanyakan faktor-faktor ini masih tergantung pula pada panjangnya saluran [6]

Pada sistem multi-bus, penyelesaian aliran daya dengan metode persamaan aliran daya. Metode yang digunakan adalah Metode Newton-Raphson. Secara luas digunakan untuk permasalahan persamaan non-linear. Penyelesaian Persamaan ini menggunakan permasalahan yang linear dengan solusi pendekatan. Metode ini dapat diaplikasikan untuk satu persamaan atau beberapa Persamaan dengan beberapa variabel yang tidak diketahui.

Pada tahap awal dilakukan penomoran bus terhadap sistem yang akan dianalisis. Bus-bus yang terhubung dengan generator diberi nomor terlebih dahulu setelah itu penomoran bus dilanjutkan pada bus-bus beban, bus yang memiliki kapasitas pembangkit terbesar di pilih sebagai slack bus dan di beri nomor 1, untuk bus lain yang terhubung ke generator diberi nomor 3 sebagai bus pembangkit.

Perhitungan dimulai dengan membentuk impedansi jaringan (Z_{ij}) dengan rumus :

$$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ji} \quad (1)$$

Kemudian impedansi jaringan dikonversi ke admitansi jaringan

$$Y_{ij} = R_{ij} + jYX_{ji} \quad (2)$$

Selanjutnya maktriks admitansi bus [Y] dibentuk dengan komponen-komponen yang terdiri atas admitansi jaringan, kapasitansi saluran, dan perubahan tapping transformator. Kemudian matriks admitansi bus [Y] yang terbentuk dalam bentuk rectangular dirubah ke dalam bentuk polar. Dimana sebelumnya matriks admitansi bus [Y] tersebut dipisahkan menjadi komponen matriks [G] dan matriks [B].

Daya terjadwal pada setiap bus dihitung dengan rumus :

$$P_i^{jd} = P_{Gi} - P_{Li} \quad (3)$$

$$Q_i^{jd} = Q_{Gi} - Q_{Li} \quad (4)$$

Iterasi dimulai dengan memasang pencacah iterasi terlebih dahulu. Dalam proses iterasi dicari daya terhitung dengan rumus :

$$P_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (5)$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (6)$$

Mismatch power dihitung dengan persamaan :

$$\Delta P_i = \frac{P_i^{jd} - P_i^{hit}}{V_i} \quad (7)$$

$$\Delta Q_i = \frac{Q_i^{jd} - Q_i^{hit}}{V_i} \quad (8)$$

Setelah mismatch daya dihitung maka selanjutnya membentuk matriks jacobian :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & H = J11 & \vdots & \vdots & N = J12 & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_2}{\partial |V_n|} \\ \vdots & M = J21 & \vdots & \vdots & L = J22 & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Matriks jacobian ini terdiri dari 4 submatriks yaitu submatriks H, N, M dan L atau dengan ekspresi yang lain J11, J12, J21, dan J22.

Untuk submatriks J11 atau H dihitung dengan rumus :

Untuk komponen luar diagonal

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (10)$$

Komponen diagonal

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{n=1, n \neq i}^N |V_i V_n Y_{in}| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (11)$$

Untuk submatriks M atau J21 dihitung dengan rumus :

Untuk komponen luar diagonal

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (12)$$

Untuk komponen diagonal

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{n=1, n \neq i}^N |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \sum_{n=1, n \neq i}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_n} \quad (13)$$

Untuk submatriks J12 = N dihitung dengan rumus :

Untuk komponen luar diagonal

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_j| |V_i Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (14)$$

atau

$$|V_j| \frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = -\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \quad (15)$$

Untuk komponen diagonal

$$|V_i| \frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} + 2|V_i|^2 G_{ii} = P_i + |V_i|^2 G_{ii} \quad (16)$$

Untuk komponen submatiks L atau J22 dihitung dengan rumus :

Untuk komponen luar diagonal

$$|V_j| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_j| |V_i Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \quad (17)$$

Untuk komponen diagonal

$$|V_i| \frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} - 2|V_i|^2 B_{ii} = Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (18)$$

Setelah diperoleh harga dari masing-masing elemen pada submatriks jacobian, selanjutnya dibentuk matriks jacobian dengan menggabungkan keempat submatriks jacobian tersebut. Matriks jacobian [Jacobian] selanjutnya diinvers menjadi [Jacobian]⁻¹ dengan menggunakan dekomposisi LU.

Sudut fasa dan magnitude tegangan tiap bus yang baru dicari dengan menggunakan rumus :

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |V_1|/|V_1| \\ \vdots \\ \Delta |V_n|/|V_n| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_n} & |V_1| \frac{\partial P_1}{\partial |V_1|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_1}{\partial |V_n|} \\ \vdots & H=J11 & \vdots & \vdots & N=J12 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_1} & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial P_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial P_n}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_n} & |V_1| \frac{\partial Q_1}{\partial |V_1|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_1}{\partial |V_n|} \\ \vdots & M=J21 & \vdots & \vdots & L=J22 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & |V_2| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_2|} & \dots & |V_n| \frac{\partial Q_n}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_1 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

Hasil perkalian yang diperoleh selanjutnya dipisah-pisah menjadi bagian $\Delta \delta_i$ dan $\frac{\Delta |V_i|}{|V_i|}$:

$$\Delta \delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (20)$$

$$|V_i|^{(k+1)} = |V_i|^{(k)} + \Delta |V_i|^{(k)} = |V_i|^{(k)} \left(1 + \frac{\Delta |V_i|^{(k)}}{|V_i|^{(k)}} \right) \quad (21)$$

Daya pada slack bus dihitung setelah konvergensi tercapai, dengan rumus :

$$P_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (22)$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (23)$$

Selain itu daya reaktif pada bus PV (pembangkit) juga dihitung setelah konvergensi tercapai. Dengan rumus :

$$Q_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (24)$$

Aliran daya antar bus dihitung dengan rumus :

$$S_{ij} = V_i(V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y^* c_{ij})$$

atau

$$P_{ij} - JQ_{ij} = V_i^*(V_i - V_j)Y_{ij} + V_i^* V_i Y c_{ij} \quad (25)$$

Rugi-rugi daya antar bus dihitung dengan menggunakan rumus :

$$S_{ij}(\text{losses}) = S_{ij} + S_{ji} \quad (26)$$

2.2 Kompensasi Kapasitor Shunt

Kapasitor shunt berguna sebagai sumber daya reaktif tambahan untuk mengkompensasi daya induktif akibat pembebanan dengan melakukan kompensasi daya reaktif, yang bertujuan untuk transportasi daya reaktif pada jaringan tenaga listrik dan menjaga agar profil tegangan selalu berada pada batas-batas yang diijinkan [7]. Pemasangan kapasitor shunt ini diharapkan akan dapat menurunkan rugi-rugi yang berarti penghematan energi listrik, peningkatan kualitas tegangan dan kualitas daya (*power quality*), serta penurunan arus listrik yang mengalir pada beban sehingga dapat menambah beban tanpa perlu menambah atau membangun saluran yang baru.

Kapasitor shunt mensuplai daya reaktif atau arus untuk menetralkan komponen keluaran antar fasa dari arus yang diperlukan oleh beban induktif.

2.3 Transformator Tap (*Tap Changer*)

Perbaikan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan berupa penggunaan tap transformator. Dengan menggunakan tap transformator kita dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder transformator. Dengan demikian kita dapat mengatur tegangan keluaran transformator. Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a \quad (27)$$

Keterangan:

- V_p = Tegangan di sisi primer
- V_s = Tegangan di sisi sekunder
- N_p = Jumlah lilitan primer
- N_s = Jumlah lilitan sekunder
- a = Rasio lilitan

Tap transformator dapat digunakan di gardu induk maupun pada gardu distribusi tergantung dari perbaikan tegangan yang di inginkan. Proses perubahan tap transformator ada dua jenis, yaitu perubahan tap positif dan negatif. Biasanya nilai perubahan tap transformator menggunakan ukuran persen (%), berkisaran dinilai 5%. Perubahan tap positif dengan menambah jumlah lilitan di sisi sekunder, sedangkan tap negatif sebaliknya akan mengurangi jumlah lilitan di sisi sekunder. Tap transformator biasanya telah memiliki ukuran tap sendiri tergantung dari pabrik yang memproduksinya. Sehingga pengaturan tegangan dengan menggunakan tap transformator sifatnya terbatas dan tergantung dari jenis tap transformator yang digunakan. Semakin banyak level perubahan tap yang dimiliki oleh suatu transformator semakin baik pula proses pengaturan tegangan yang dapat dilakukan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Kasus yang dianalisa pada penelitian ini adalah sistem kelistrikan Sumbar. Data yang digunakan pada saat beban puncak (*steady state*) bulan November 2014 pada malam hari pukul 07.00 Wib. Pengolahan data dilakukan dengan memanfaatkan software *PowerWorld* dengan simulasi *Load Flow*. Ada beberapa tahap yang dilalui dalam pengolahan data yaitu:

1. Dengan penambahan kapasitor bank.

Dimana pada tahapan ini kita akan menggunakan kapasitor bank, melakukan perubahan nilai serta penempatan kapasitor bank yang digunakan dengan tepat sampai kita mendapatkan nilai tegangan yang diinginkan. Kapasitor bank ditempatkan pada bus-bus yang memiliki selisih tegangan yang lebih dari 5 %. Kapasitor bank dapat ditempatkan pada sisi primer dan sisi sekunder pada sistem. Dengan menggunakan *PowerWorld* simulasi kita dapat melihat penempatan, nilai kapasitor serta perubahan tegangan yang terjadi.

2. Dengan pengaturan rasio tap tranformator.

Pada metode ini dilakukan penggunaan tap transformator, dimana pada metode ini dilakukan dengan pengubahan rasio lilitan primer dan sekunder tranformator. Dengan demikian kita dapat mengatur tegangan keluaran tranformator. Perubahan ini

dilakukan dengan menggunakan *PowerWorld* simulasi.

3. Dengan penambahan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator

Dengan metode ini, kita menggunakan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator secara bersamaan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel 1 merupakan kondisi sistem kelistrikan Sumbar yang meliputi kondisi tegangan minimum dan rugi-rugi daya (losses) sistem.

Tabel 1. Kondisi sistem kelistrikan Sumbar

No	Uraian	V_{min} (kV)	Bus	Losses (MW)
1	Sistem tanpa kapasitor bank dan Tap Transformator	18,79	Teluk Kuantan 20	14,4
2	Dengan penambahan 3 kapasitor pada bus Teluk Kuantan, bus Payakumbuh 20 dan bus Teluk Kuantan 20	144,23	Simpang Empat	14,1
3	Dengan pengaturan rasio tap transformator	140,88	Teluk Kuantan	14,4
4	Dengan penambahan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator	146,26	Teluk Kuantan	13,9

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kondisi awal sistem tanpa kapasitor bank dan tap transformator, tegangan minimal yang terjadi terdapat pada bus Teluk Kuantan 20 yang mengalami jatuh tegangan sebesar 6,06 % sedangkan rugi-rugi daya yang terjadi sebesar 14,4 MW. Setelah dilakukan perbaikan tegangan dengan menambahkan 3 kapasitor yang ditempatkan pada bus Teluk Kuantan, bus Payakumbuh dan bus Teluk Kuantan 20. Tegangan pada sistem mengalami perbaikan tegangan yang cukup signifikan, sedangkan tegangan minimal yang terjadi terdapat pada bus

Simpang Empat dan rugi-rugi daya yang terjadi sebesar 14,1 MW. Ini berarti sistem mengalami penurunan rugi-rugi daya sebesar 0,3 MW.

Perbaikan tegangan dengan metode pengaturan rasio tap transformator. Dimana pada metode ini, tegangan minimal pada sistem terjadi pada bus Teluk Kuantan dengan rugi-rugi daya sistem sebesar 14,4 MW. Dengan metode ini sistem tidak mengalami perubahan yang begitu besar, ini disebabkan karena pengaturan tegangan dengan menggunakan tap transformator sifatnya terbatas tergantung dari jenis tap transformator yang digunakan. Nilai perubahan rasio tap transformator menggunakan ukuran persen (%) berkisaran 5 %.

Untuk perbaikan tegangan dengan penambahan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator, tegangan minimal sistem terjadi pada bus Teluk Kuantan sedangkan rugi-rugi daya sistem yang terjadi sebesar 13,9 MW. Sistem yang pada awalnya terdapat bus-bus yang mengalami drop tegangan melebihi 5 %, setelah dilakukan perbaikan tegangan dengan menggunakan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator sistem mengalami perbaikan tegangan sehingga tegangan sistem lebih stabil. Tidak ada lagi drop tegangan yang melebihi dari 5 %. Sedangkan rugi-rugi daya yang terjadi mengalami penurunan sebesar 0,5 MW.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Perbaikan tegangan dengan penambahan kapasitor bank berdampak positif terhadap kenaikan tegangan pada sistem, dan penurunan rugi-rugi daya sistem.
2. Metode pengaturan rasio tap transformator memberikan dampak yang relatif kecil terhadap perbaikan tegangan sistem, kecuali pada sisi sekunder transformator bus yang diatur.
3. Dengan penggunaan kapasitor bank dan pengaturan rasio tap transformator secara bersamaan memberikan dampak yang signifikan terhadap kenaikan tegangan pada sistem dan rugi-rugi daya pada sistem mengalami penurunan yang lebih besar daripada hanya menggunakan kapasitor bank atau pengaturan rasio tap transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desriza, Ferdi. 2014. Peramalan Pemakaian Beban Transformator Daya Dengan Metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) Di Gardu Induk Pauh Limo. Padang: Elektro Unand
- [2] Emmy Hosea, Yusak Tanoto. 2004. Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson. Yogyakarta: Elektro Universitas Kristen Petra
- [3] Dri, Adrianus. Meminimalkan Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dengan Pemasangan Kapasitor. Tanjungpura: Elektro Universitas Tanjungpura
- [4] Syarifil Anwar, Hadi Suyono dan Harry Soekotjo D. 2012. Optimisasi Penempatan SVC untuk Memperbaiki Profil Tegangan dengan Menggunakan Algoritma Genetika, Malang: Elektro Universitas Brawijaya
- [5] Dwi Cahyanto, Restu. 2008. Studi Perbaikan Kualitas Tegangan Dan Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Pupur Dan Bedak Menggunakan Bank Kapasitor, Trafo Pengubah Tap Dan Penggantian Kabel Penyulang. Jakarta: Elektro UI
- [6] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Michigan : Mc Graw-Hill Inc.
- [7] Zuhail. 2000. Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta : Gramedia.

Biodata Penulis

Akbar Abadi, dilahirkan di Padang pada tahun 1984. Menyelesaikan pendidikan sarjana di jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Padang pada tahun 2009. Sekarang aktif sebagai teknisi di jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Unand. Saat ini tengah menempuh pendidikan jenjang Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang.