

## Pengaruh Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih pada Sistem Kelistrikan Sumatera Bagian Tengah

Heru Dibyo Laksono<sup>1,\*</sup>, M. Nasir Sonni<sup>1)</sup>, Miko Mahendra<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang

Email : heru\_dl@ft.unand.ac.id<sup>\*</sup>

### *Abstrak*

Jurnal ini membahas tentang pengaruh penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng). Masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan memunculkan berbagai kondisi dalam kehidupan manusia. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Dengan tingginya pertumbuhan penduduk setiap tahun, maka kebutuhan akan listrik juga bertambah. Dengan demikian, pembangkit listrik yang sudah ada tidak mampu mencukupi kebutuhan tersebut. Penambahan pembangkit menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kebutuhan akan listrik. Penambahan pembangkit ini akan mempengaruhi sistem yang sudah ada. Untuk itu, diperlukan studi aliran daya untuk mengetahui dampak yang akan ditimbulkan pada sistem karena adanya penambahan pembangkit baru. Studi aliran daya dilakukan dengan menggunakan metoda Fast Decouple. Selain itu penambahan pembangkit tersebut akan mempengaruhi parameter-parameter listrik berupa tegangan, sudut tegangan, daya dan rugi-rugi saluran pada sistem tersebut. Penambahan pembangkit ini juga akan mengakibatkan perubahan tegangan, peningkatan aliran daya pada saluran dan peningkatan rugi-rugi daya pada saluran transmisi pada sistem Sumatera Bagian Tengah.

**Kata kunci** : Studi aliran daya, metoda Fast Decouple, tegangan, sudut fasa, rugi – rugi saluran.

### *Abstract*

This journal discusses about the influence of addition Teluk Sirih Steam Ppower Plant (PLTU) in the electrical system of Central Part Sumatera (Sumbagteng). The Electrical issues becaomes long-drawn debated and leds to various conditions of human life. These conditions indicate that electricity has become the most important part for mankind. With high population growth every year, so that the demand for electricity has increased. Thus, existing power plants are not able to suffice that needs. The addition of power plant to be one of solution to overcome the needs for electricity. The addition of this plant will affect existing systems. For that, we need the power flow studies to determine the impact will be caused on the system due to the addition of new generation. Power flow studies is performed by using the Fast Decouple method. Besides the addition of plant, it will affect the electrical parameters such as voltage, voltage angle, and power loss in the system. The addition of this plant will also result a change in voltage, enhancement of power flow in line and enhancement of power losses in transmission line of Central Part Sumatera system.

**Keywords**: Power Flow Studies, Fast Decouple method, Voltage, Phase Angle, Power Line loss

## 1. Pendahuluan

Dalam sepuluh tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan memunculkan berbagai kondisi dalam kehidupan manusia. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Untuk itu tidak berlebihan jika listrik dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan manusia. Dengan tingginya pertumbuhan penduduk setiap tahun, maka kebutuhan akan listrik juga bertambah. Dengan demikian, pembangkit listrik yang sudah ada tidak mampu mencukupi kebutuhan tersebut. Penambahan pembangkit menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kebutuhan akan listrik. Penambahan pembangkit ini akan mempengaruhi sistem yang sudah ada. Untuk itu, diperlukan studi aliran daya untuk mengetahui dampak yang akan ditimbulkan pada sistem karena adanya penambahan pembangkit baru. Studi aliran daya diadakan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya dan tegangan sistem tenaga listrik. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga listrik dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Alasan lain diperlukannya studi aliran daya adalah ketika suatu jaringan daya diperluas dengan menambah jaringan transmisi dan beban untuk memenuhi perkembangan suatu daerah khususnya kebutuhan tenaga listrik. Hal yang terpenting dari studi aliran ini adalah penentuan besar tegangan ( $V$ ) dan sudut fasa ( $\theta$ ) dari setiap bus. Setelah mengetahui tegangan dan sudut fasa setiap bus, perhitungan selanjutnya dilakukan untuk mencari daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ) dari kapasitor statis atau reaktor-reaktor bus. Selain itu dapat juga diketahui rugi-rugi dalam MW dan MVAR pada sistem serta ketidakserasian daya aktif dan reaktif setiap bus. Ada beberapa metoda yang bisa digunakan untuk perhitungan aliran daya diantaranya metoda Gauss Seidel, metoda Newton Raphson dan metoda Fast Decouple. Pada penelitian ini digunakan metoda Fast Decouple dengan alasan metode Fast Decouple ini mempunyai algoritma perhitungan yang lebih sederhana, cepat dan tidak membutuhkan memori yang banyak. Selain itu beberapa penelitian yang berkaitan dengan metoda aliran daya diantaranya Analisis pendekatan Metode Newton-Raphson dalam menyelesaikan optimasi multivariabel pada sistem tenaga listrik (Robertha, 2010), perbandingan metoda Newton Raphson dan metoda Fast Decouple (Laksono, 2007), penerapan metoda Fast Decouple pada studi aliran daya (Laksono, 2007) dan penerapan metoda Gauss Seidel pada studi aliran daya (Laksono, 2007), studi aliran daya pada model sistem IEEE 30 Bus dengan menggunakan metoda Gauss Seidel dan metoda Newton Raphson (Dharamjit, 2012), studi aliran daya pada model sistem IEEE 14 Bus dengan menggunakan metoda Gauss Seidel (P. Srikanth dkk, 2013)

Sistem kelistrikan sumatera bagian tengah merupakan subsistem dari sistem kelistrikan Sumatera yang memsuplai energi listrik untuk propinsi Sumatera Barat khususnya dan pulau Sumatera umumnya. Pembangunan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih ini bertujuan untuk mengantisipasi kekurangan energi listrik yang sering terjadi di wilayah propinsi Sumatera Barat khususnya dan pulau Sumatera umumnya akhir – akhir ini. Untuk itu perlu dilakukan berbagai evaluasi pengaruh penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih terhadap performansi kelistrikan Sumatera Bagian Tengah khususnya. Salah satu evaluasi yang dilakukan adalah evaluasi aliran daya. Evaluasi aliran daya yang dilakukan meliputi evaluasi aliran daya pada kondisi sebelum penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih, evaluasi aliran daya pada kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih, evaluasi aliran daya terhadap perubahan beban, penambahan kapasitor dan perubahan tap trafo setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih. Secara garis besarnya hasil dari evaluasi aliran daya terhadap pembangunan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih bertujuan untuk mengetahui perubahan tegangan, sudut fasa tegangan, daya aktif, daya reaktif dan rugi – rugi saluran. Adapun batasan dalam penelitian ini adalah

- a. Studi aliran daya dilakukan pada sistem transmisi tenaga listrik PT. PLN P3B dengan subsistem Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) sebelum dan sesudah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih 100 MW.
- b. Parameter yang diperhatikan dalam tugas akhir ini adalah perubahan tegangan, perubahan sudut tegangan, perubahan daya aktif, perubahan daya reaktif serta rugi – rugi daya pada sistem tenaga listrik PT. PLN P3B Sumatera subsistem Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng).
- c. Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan metoda Fast Decouple.
- d. Diasumsikan tegangan pada *slack* bus adalah sebesar 1.04 pu, bus pembangkit (PV) sebesar 1.02 pu.
- e. Diasumsikan besar sudut tegangan pada setiap bus adalah sebesar  $0^{\circ}$ .
- f. Perubahan beban dilakukan pada sistem dalam keadaan normal dan setelah penambahan pembangkit baru dengan 3 kondisi, yaitu 0.75 kali beban penuh, 1.25 kali beban penuh dan 1.50 kali beban penuh.
- g. Penambahan kapasitor dilakukan pada sistem dalam keadaan normal dan setelah penambahan pembangkit baru pada bus yang mengalami jatuh tegangan paling besar.

## 2. Metoda Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan langkah – langkah analisa aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah dengan menggunakan metoda Fast Decouple. Perhitungan dimulai dengan membentuk impedansi jaringan ( $Z_{ij}$ ) dengan persamaan (1) berikut

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

dimana

$Z_{ij}$  : Impedansi jaringan antara bus ke i dan bus ke j

$R_{ij}$  : Resistansi jaringan antara bus ke i dan bus ke j

$X_{ij}$  : Reaktansi jaringan antara bus ke i dan bus ke j

Setelah itu dibentuk admitansi jaringan dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) berikut

$$Y_{ij} = Y_{rij} + Y_{xij} \quad (2)$$

$$Y_{rij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (3)$$

$$Y_{xij} = -\frac{X_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \quad (4)$$

Matrik admitansi bus yang terbentuk kemudian dipisah menjadi komponen matrik konduktansi (G) dan komponen matrik suseptansi (B). Berdasarkan komponen matrik suseptansi (B) kemudian dibentuk matrik [BP] dan matrik [BQ]. Matriks [BP] dibentuk dengan menghilangkan baris dan kolom yang menunjukkan slack bus dari matriks suseptansi (B) dan matriks [BQ] dibentuk dengan menghilangkan baris dan kolom yang menunjukkan bus pembangkit dari matriks [BP]. Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan operasi matrik invers pada matrik [BP] dan matrik [BQ].

Dilanjutkan dengan perhitungan daya terjadwal daya terhitung untuk setiap bus. Untuk daya terjadwal dilakukan dengan menggunakan persamaan (5) dan (6) berikut

$$P_{jad} = P_{gen} - P_{beban} \quad (5)$$

$$Q_{jad} = Q_{gen} - Q_{load} \quad (6)$$

Untuk daya terhitung dihitung dengan persamaan (7) dan (8) berikut

$$P_i^{hit} = \sum_{n=1}^n [Y_{in} V_i V_n] \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (7)$$

$$Q_i^{hit} = -\sum_{n=1}^n [Y_{in} V_i V_n] \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (8)$$

Setelah dilakukan perhitungan daya terjadwal dan daya hitung, dilanjutkan dengan perhitungan daya *mismatch* dengan menggunakan persamaan (9) dan (10) berikut

$$\Delta P_n = P_n^{jad} - P_n^{hit} \quad (9)$$

$$\Delta Q_n = Q_n^{jad} - Q_n^{hit} \quad (10)$$

Selanjutnya dihitung perubahan sudut fasa ( $\Delta\theta$ ) dan magnitude tegangan ( $\Delta V$ ) dengan menggunakan persamaan (11) dan (12)

$$\Delta\theta_i = \sum_{i=2}^n BPIN_{2i} \cdot \Delta P_i / |V_i| \quad (11)$$

$$|\Delta V_i| = \sum_{i=2}^n BQIN_{2i} \cdot \Delta Q_i / |V_i| \quad (12)$$

dimana

$\Delta\theta_i$  : perubahan sudut fasa bus ke i

$|\Delta V_i|$  : perubahan magnitudo tegangan bus ke i

BPIN : elemen invers matriks [BP]

BQIN : elemen invers matriks [BQ]

Sudut fasa dan magnitudo tegangan tiap bus yang baru dicari dengan persamaan (13) dan (14) berikut

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (13)$$

$$V_i^{(k+1)} = V_i^{(k)} + \Delta|V_i|^{(k)} \quad (14)$$

Perhitungan akan dihentikan jika konvergensi telah tercapai. Setelah itu dihitung daya pada slack bus, aliran daya antar bus dan rugi – rugi daya antar bus. Untuk daya pada slack bus dihitung dengan persamaan (15) dan (16) berikut

$$P_i = \sum_{n=1}^N [Y_{in} V_i Y_n] \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (15)$$

$$Q_i = -\sum_{n=1}^N [Y_{in} V_i Y_n] \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (16)$$

dimana

$P_i$  : daya aktif pada slack bus

$Q_i$  : daya reaktif pada slack bus

Untuk aliran daya antar bus dihitung dengan persamaan (17) dan (18) berikut

$$S_{ij} = V_i (V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y_{ij}^* c_{ij}) \quad (17)$$

atau

$$P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) Y_{ij} + V_i^* V_i Y_{ij} c_{ij} \quad (18)$$

dimana

$S_i$  : aliran daya kompleks dari bus i ke bus j

$P_{ij}$  : aliran daya aktif dari bus i ke bus j

$Q_{ij}$  : aliran daya reaktif dari bus i ke bus j

$V_i$  : magnitudo tegangan di bus i

$V_j$  : magnitudo tegangan di bus j

$V_{ij}$  : magnitudo tegangan antara bus i dan bus j

$Y_{ij}$  : admitansi antara bus i dan bus j

$Yc_{ij}$  : admitansi line charging antara bus i dan bus j

Untuk persamaan rugi – rugi daya antar bus dihitung dengan persamaan (19) berikut

$$S_{ij} (\text{losses}) = S_{ij} + S_{ji} \quad (19)$$

Dimana :

$S_{ij} (\text{losses})$  : rugi – rugi daya kompleks dari bus i ke bus j

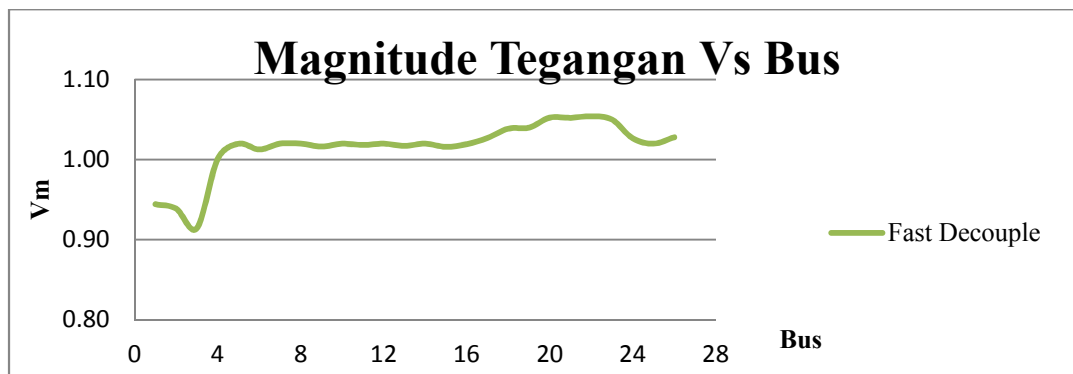
$S_{ij}$  : daya kompleks dari bus i ke bus j

$S_{ji}$  : daya kompleks dari bus j ke bus i

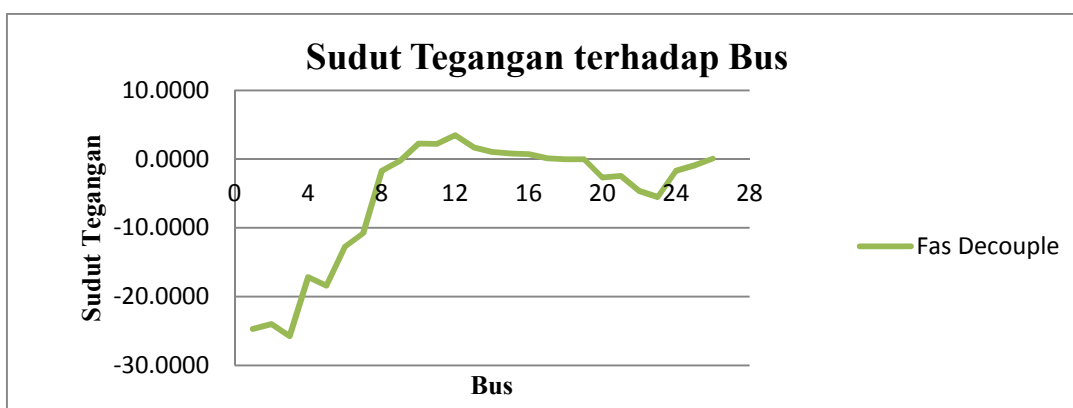
### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini dilakukan evaluasi aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) untuk kondisi sebelum penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih, setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih, perubahan beban dan penambahan kapasitor setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih. Evaluasi sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab dengan MVABase 100 MVA dengan tingkat ketelitian 0.0001 dan metoda yang digunakan adalah metoda Fast Decouple.

Evaluasi aliran daya sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) untuk kondisi sebelum penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitudo tegangan dan sudut fasa yang diperlihatkan pada Gambar 1. dan Gambar 2. berikut



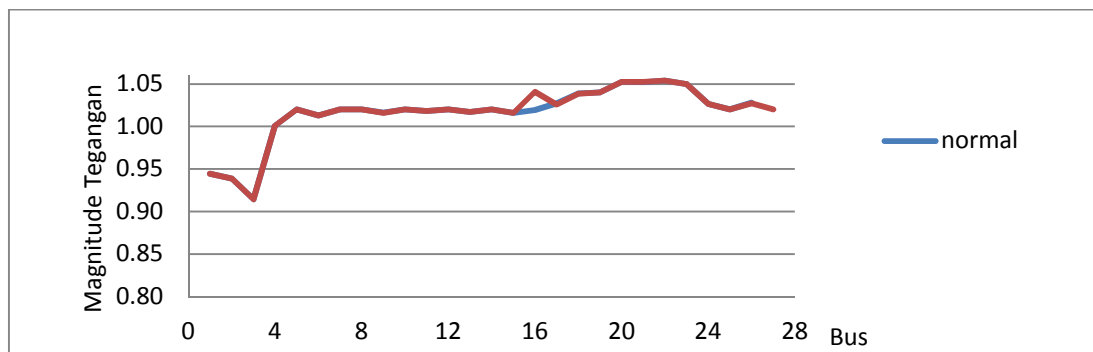
Gambar 1. Hubungan Magnitudo Tegangan terhadap Bus



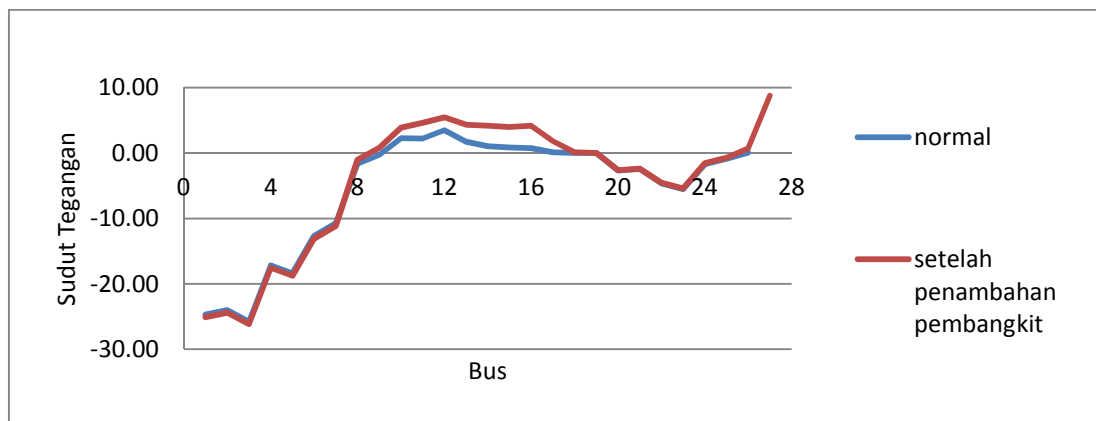
Gambar 2. Hubungan Sudut Tegangan terhadap Bus

Pada Gambar 1. dan Gambar 2. diperlihatkan besar magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan untuk setiap bus pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) sebelum penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih dan diperoleh juga rugi – rugi daya aktif sebesar 16.1020 MW dan rugi –rugi daya reaktif sebesar 139.0680 MVAR.

Evaluasi aliran daya sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) untuk kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitudo tegangan dan sudut fasa tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 3. dan Gambar 4. berikut



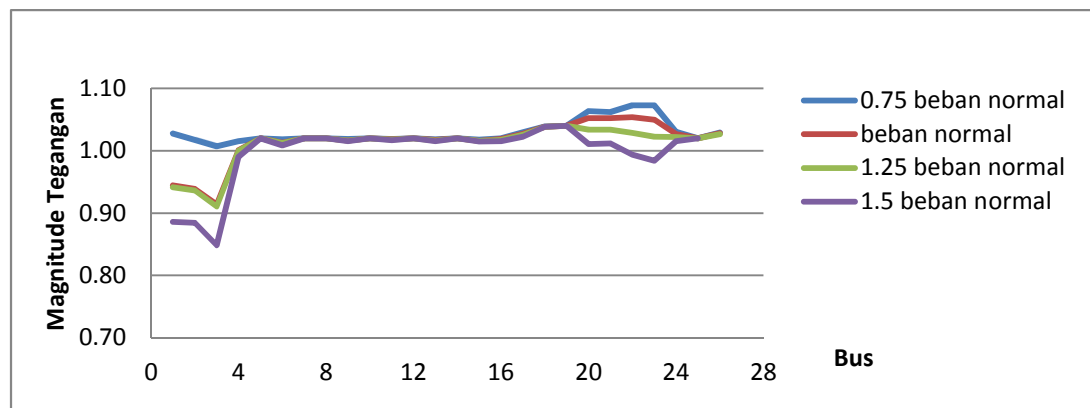
Gambar 3. Hubungan Magnitudo Tegangan terhadap Bus



Gambar 4. Hubungan Sudut Fasa Tegangan terhadap Bus

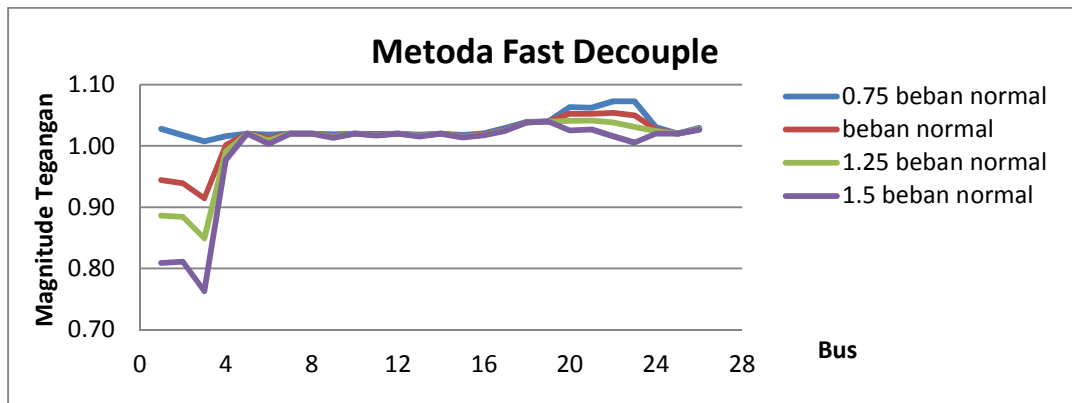
Beberapa hal yang perlu diperhatikan dengan adanya penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih adalah bus yang terhubung langsung dengan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih dalam hal ini bus Indarung, magnitudo tegangan mengalami kenaikan dari 1.0193 pu menjadi 1.0410 pu dan sudut tegangan juga mengalami kenaikan dari  $0.7293^0$  menjadi  $4.1688^0$ . Bus lain yang terhubung dengan bus indarung, tegangannya cenderung konstan sedangkan sudut fasanya mengalami kenaikan. Untuk rugi – rugi daya aktif sebesar 21.6260 MW dan rugi –rugi daya reaktif sebesar 124.4940 MVAR. Dengan demikian rugi – rugi daya aktif pada sistem akan bertambah besar dengan adanya penambahan pembangkit baru sedangkan untuk rugi – rugi daya reaktif berkurang.

Pada bagian ini dilakukan evaluasi aliran daya sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) terhadap perubahan beban pada bus beban. Perubahan beban dilakukan pada 4 kondisi yang berbeda yaitu kondisi 0.75 kali beban penuh, beban normal, 1.25 kali beban penuh dan 1.50 kali beban penuh baik untuk kondisi sebelum maupun setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih. Untuk perubahan beban pada kondisi sebelum penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitudo tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 5. berikut



Gambar 5. Hubungan Magnitudo Tegangan Terhadap Bus

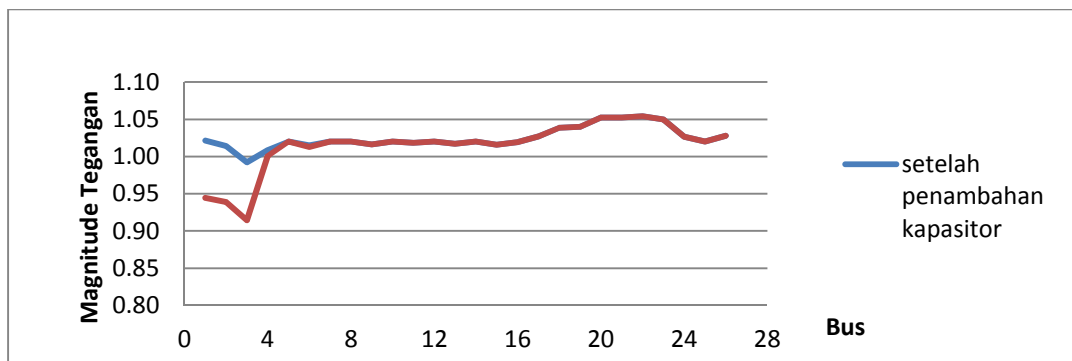
Pada Gambar 5. terlihat semakin besar beban maka magnitudo tegangan setiap bus mengalami penurunan, sedangkan sudut fasa tegangan mengalami kenaikan. Untuk besarnya rugi– rugi daya aktif dan rugi – rugi daya reaktif berbanding lurus dengan kenaikan beban, dimana semakin besar beban maka rugi – rugi daya aktif dan rugi – rugi daya reaktif akan semakin besar pula dan begitu juga sebaliknya. Untuk perubahan beban pada kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitudo tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 6. berikut



Gambar 6. Hubungan Magnitude Tegangan Terhadap Bus

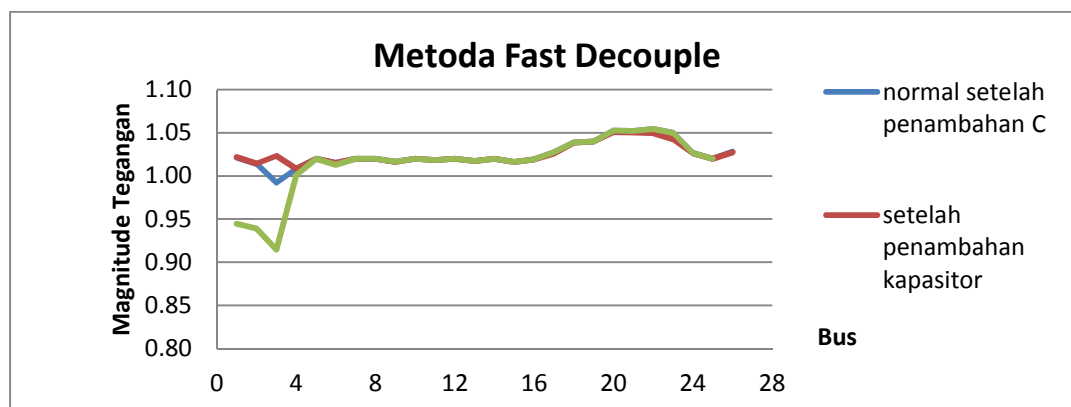
Pada Gambar 6. terlihat semakin besar beban maka magnitude tegangan setiap bus mengalami penurunan, sedangkan sudut fasa tegangan mengalami kenaikan. Untuk besarnya rugi-rugi daya aktif dan rugi-rugi daya reaktif berbanding lurus dengan kenaikan beban, dimana semakin besar beban maka rugi-rugi daya aktif dan rugi-rugi daya reaktif akan semakin besar pula dan begitu juga sebaliknya.

Pada bagian ini dilakukan evaluasi aliran daya sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) terhadap penambahan kapasitor pada bus yang mengalami jatuh tegangan terbesar baik untuk kondisi sebelum maupun setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih. Adapun bus yang mengalami jatuh tegangan terbesar adalah bus Dumai dan besar penambahan kapasitor sebesar 30 MVAR. Untuk penambahan kapasitor pada kondisi sebelum penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitude tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 7. Berikut



Gambar 7. Hubungan Manitude Tegangan Terhadap Bus

Penambahan kapasitor pada bus Dumai sebesar 30 MVAR menyebabkan jatuh tegangan pada bus Dumai akan semakin kecil dimana terjadi perubahan magnitude tegangan dari 0.9144 pu menjadi 0.9922 pu dan semakin besar kapasitas kapasitor yang dipasang maka semakin kecil jatuh tegangan yang terjadi. Selain itu penambahan kapasitor ini menyebabkan rugi-rugi daya aktif menjadi berkurang dari 16.4890 MW menjadi 15.6850 MW dan bertambah besarnya rugi-rugi reaktif dari -134.3330 MW menjadi -144.6310 MW. Untuk penambahan kapasitor pada kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih diperoleh informasi magnitude tegangan yang diperlihatkan pada Gambar 8. berikut



Gambar 8. Hubungan Magnitude Tegangan terhadap Bus

Pada Gambar 8. diperlihatkan perubahan magnitudo tegangan pada saat kondisi normal tanpa penambahan kapasitor, kondisi normal setelah penambahan kapasitor dan kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih disertai penambahan kapasitor. Penambahan kapasitor pada bus Dumai menyebabkan kenaikan magnitudo tegangan pada bus tersebut serta magnitudo tegangan pada bus – bus yang terhubung dengan bus Dumai. Selain itu penambahan kapasitor pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Tengah (Sumbagteng) setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih menyebabkan rugi –rugi daya aktif mengalami kenaikan dari 16.4890 MW menjadi 19.7400 MW sedangkan rugi –rugi daya reaktif mengalami penurunan dari -134.3330 MW menjadi -136.7480 MW.

#### 4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- Penambahan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih menyebabkan tegangan dan sudut tegangan serta rugi-rugi saluran pada bus meningkat, dimana besar rugi-rugi daya pada kondisi sistem normal adalah (16.1020 – j139.0680) MVA dan besar rugi-rugi daya setelah penambahan pembangkit adalah Metoda Fast Decouple sebesar (21.6260 – j124.4940) MVA
- Penambahan beban pada sistem baik dalam kondisi normal maupun setelah penambahan pembangkit baru menyebabkan tegangan dan rugi-rugi saluran meningkat. Hal ini disebabkan karena sistem membutuhkan daya yang lebih besar untuk mendukung operasi sistem dengan beban besar yang beroperasi.
- Penambahan kapasitor pada kondisi normal dan kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih menyebabkan tegangan pada bus Dumai meningkat, adapun tujuan penambahan kapasitor ini adalah untuk mengurangi jatuh tegangan pada bus tersebut. Selain itu penambahan kapasitor pada bus Dumai pada kondisi normal dan kondisi setelah penambahan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Teluk Sirih menyebabkan rugi –rugi daya aktif mengalami penurunan dan peningkatan rugi – rugi daya reaktif.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas yang telah memfasilitasi penelitian sehingga dihasilkan jurnal ini.

#### Referensi

- [1] Basri, Hasan, *Dasar-Dasar Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta : ISTN, 1997.
- [2] Charles A. Gross, *Power System Analysis*, London : John Wiley & Sons, 1986.
- [3] Deni Robertha, *Analisis pendekatan Metode Newton-Raphson Dalam menyelesaikan Optimasi Multivariabel Dengan Kendala Persamaan*, Sumatera Utara : Tugas Akhir, 2010.
- [4] Dharamjit and D.K Tanti, *Load Flow Analysis on IEEE 30 Bus System*, International Journal of Scientific and Research Publication Vo. 02 Issue 11, 2012.
- [5] Heru Dibyo Laksono, *Studi Aliran Daya Dengan Metoda Fast Decouple ( Studi Kasus : PT. PLN Sumbar-Riau)*, Jurnal Teknik Vol. 27 Vol 03 Tahun XIV, 2007.
- [6] Heru Dibyo Laksono, *Perbandingan Metoda Newton Raphson dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya (Studi Kasus : PT. PLN Sumbar – Riau)*, Jurnal Teknik Vol. 27 Vol 03 Tahun XIV, 2007.



- [7] Heru Dibyo Laksono, Studi Aliran Daya Dengan Metoda Gauss Seidel ( Studi Kasus : PT. PLN Sumbar-Riau), Jurnal Teknik Vol. 28 Vol 01 Tahun XIV, 2007.
- [8] P. Srikanth, O. Rajendra, A. Yesuraj, M. Tilak and K .Raja, *Load Flow Analysis of IEEE 14 Bus System Using Matlab*, International Journal of Engineering Research & Technolgy (IJERT) Vol. 02 Issue 5, 2013.
- [9] W. D. Stevenson and J. Grainger, *Power System Analysis*, New York : McGraw-Hill, 1996.