

# PENENTUAN BATAS TRANSFER DAYA LISTRIK DENGAN MEMINIMALKAN PEMBANGKITAN DAYA PADA PEMBANGKIT SUBSISTEM STUDI KASUS : SUBSISTEM 275 KV SUMBEGSEL - SUMBAGTENG PT PLN (PERSERO) P3BS

Gesit Septiadi<sup>1</sup>, Dian Yayan Sukma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro; <sup>2</sup>Dosen Teknik Elektro  
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas km. 12,5 Simpang Baru, Panam,  
Pekanbaru 28293  
Email: gesitseptiadi@gmail.com

## ABSTRACT

*In the single line of electric power flow, there are a lot of things to be aware such as the capacity of system installation equipment and also the equipment will be utilized. This analysis aims to measure the extent of power transfer between subsystems Sumbagsel to Sumbagteng can be maximized by using extra high voltage of overhead conductor 275 kV. This study without breaking the boundaries of operation of the existing rule. The calculation in this analysis using software assisted with Newton Raphson power flow method to calculate several possible scenarios. The amount of maximum power transfer subsystem Sumbagsel towards Sumbagteng is 557,6 MW without operating compensator and the amount of power transfer by operating the compensator is 586 MW.*

**Keywords:** Power flow, Newton Raphson Method, 275 kV Sumatera system

## I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat modern saat ini, sehingga eksistensinya sangat dibutuhkan secara terus-menerus dengan kualitas yang baik dan harga yang murah. Sistem tenaga listrik perlu diinterkoneksi untuk mengoptimalkan pengusahaan sistem agar dapat mengevakuasi daya listrik dari daerah yang memiliki daya pembangkit yang banyak dan murah ke daerah lainnya.

Wilayah Propinsi Sumatera Selatan (Sumsel) dikenal sebagai Lumbung Energi Nasional karena memiliki sumber daya energi yang beraneka ragam seperti minyak bumi, gas bumi, batubara, dsb. Oleh karena itu di daerah tersebut merupakan daerah yang sangat strategis untuk dibangun pembangkit *thermal* karena berada dekat dengan sumber bahan bakarnya.

PLN P3BS akan mengoperasikan SUTET tegangan 275 kV sebagai jalur penghubung antara subsystem Sumbagsel – Sumbagteng yang sudah dibangun. Arah aliran daya dari saluran tersebut adalah dari sistem Sumbagsel menuju Sumbagteng

karena pada subsystem Sumbagsel memiliki daya pembangkit yang lebih besar dan berada dekat dengan sumber energi yang melimpah.

Transfer daya listrik dibatasi oleh beberapa faktor diantaranya batasan kapasitas dari tiap-tiap peralatan itu sendiri, batasan *thermal* atau panas yang ditimbulkan sehingga berpotensi merusak peralatan (biasanya tidak berbeda jauh dengan batasan kapasitasnya), batasan tegangan yaitu nilai tegangan yang harus dijaga agar tidak melewati batas maksimum dan minimum sesuai aturan jaringan Sumatera yang berlaku dan batasan lainnya.

## II. LANDASAN TEORI

Aliran Daya suatu sistem tenaga listrik merupakan aliran daya listrik yang berasal dari seluruh pembangkit listrik yang terhubung melalui jaringan listrik menuju beban-beban listrik yang terhubung ke sistem tersebut. Dalam perhitungan atau analisis aliran daya diambil ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- Sistem dalam keadaan seimbang, dengan demikian kita dapat melakukan perhitungan dengan menggunakan model satu fasa. (Sudaryatno S., 2012)
- Semua besaran dinyatakan dalam per-unit; dengan demikian berbagai tingkat tegangan dalam sistem sebagai akibat digunakannya transformator tidak akan menjadi persoalan. (Sudaryatno S., 2012)

## 2.1 Analisis Aliran Daya

Dalam analisis aliran daya terdapat empat buah besaran yang dihitung dan diketahui yaitu

- Daya aktif (P - Watt)
- Daya reaktif (Q - VAR)
- Magnitud tegangan ( $|V|$  - Volt)
- Sudut tegangan ( $\theta$  - derajat)

Selanjutnya dalam menyelesaikan analisis aliran daya, bus (titik sambungan) diklasifikasi menjadi 3 (tiga) buah jenis bus yaitu:

- Bus ayun atau swing atau slack bus ( $|V|$ ,  $\theta$  konstan  $\rightarrow$  P, Q dihitung) yaitu bus referensi dimana nilai tegangan dan sudut tegangan ditentukan kemudian nilai daya aktif dan daya reaktif dihitung, bus ini adalah bus yang terhubung ke generator (biasanya generator terbesar).
- Bus kontrol atau PV control bus (P,  $|V|$  konstan  $\rightarrow$   $\theta$ , Q dihitung) yaitu bus penyeimbang tegangan dimana nilai daya dan magnitud ditentukan kemudian nilai sudut dan daya reaktif dihitung, bus ini adalah bus yang terhubung ke generator (biasanya generator yang AVR-nya aktif)
- Bus beban atau PQ control bus (P, Q konstan  $\rightarrow$   $|V|$ ,  $\theta$  dihitung) yaitu bus beban dimana nilai daya aktif dan daya reaktifnya ditentukan kemudian nilai magnitud dan sudut tegangan dihitung, bus ini adalah bus yang terhubung ke beban.

### 2.1.1 Metoda Newton Raphson

$S^{sch}_i$  = daya injeksi yang terjadwal

$S^{cal}_i$  = daya injeksi yang dihitung

$S^{cal}_i = S^{sch}_i \rightarrow$  Metoda Newton Raphson

- Admitansi Bus

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} = |Y_{ij}| \cdot \angle \theta_{ij}$$

$$G_{ij} = Re \{Y_{ij}\}$$

$$B_{ij} = Im \{Y_{ij}\}$$

- Selama Iterasi

- Menentukan sudut tegangan dan magnitud tegangan bus

- Sudut tegangan PV bus & PQ bus

- Magnitud tegangan PQ bus

- Persamaan daya terhitung  $P^{cal}_i = Q^{cal}_i$

$P^{cal}_i \rightarrow$  PV bus & PQ bus

$$P^{cal}_i =$$

$$G_{ii} |V_i|^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n [Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \cos(\theta_{ij} + \delta_j -$$

$$\delta_i)$$

$$Q^{cal}_i \rightarrow$$
 PQ bus

$$Q^{cal}_i = -B_{ii} |V_i|^2 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n [Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

(A.4)

- Persamaan mismatch daya

$$\Delta P_i = P^{sch}_i - P^{cal}_i$$

$$\Delta Q = Q^{sch}_i - Q^{cal}_i$$

- Jacobian

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P^{cal}_i}{\partial \delta_i} & \dots & |V_i| \frac{\partial P^{cal}_i}{\partial |V_i|} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial Q^{cal}_i}{\partial \delta_i} & \dots & |V_i| \frac{\partial Q^{cal}_i}{\partial |V_i|} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \dots \\ \frac{\Delta |V_i|}{|V_i|} \\ \dots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \dots \\ \Delta Q_i \\ \dots \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} J11 & J12 \\ J21 & J22 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \frac{\Delta |V_i|}{|V_i|} \\ |V_i| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} J11 & J12 \\ J21 & J22 \end{bmatrix} \rightarrow \text{Matrik Jacobian}$$

(A.4)

Komponen Matrik Jacobian:

J11 ((PV+PQ)  $\times$  (PV+PQ))

$$i = j \Rightarrow \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N [Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$i \neq j \Rightarrow \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -[Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \cdot \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

J12 (Bus (PV+PQ) × (PQ))

$$i = j \Rightarrow [V_i] \frac{\partial P_i}{\partial [V_i]} = P_i + G_{ii} |V_i|^2$$

$$i \neq j \Rightarrow [V_j] \frac{\partial P_i}{\partial [V_j]} = -\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j}$$

J21 ((PQ) × (PV+PQ))

$$i = j \Rightarrow \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N [Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

$$i \neq j \Rightarrow \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -[Y_{ij} \cdot V_j \cdot V_i] \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i)$$

J22 (Bus (PQ) × (PQ))

$$i = j \Rightarrow [V_i] \frac{\partial Q_i}{\partial [V_i]} = Q_i - B_{ii} |V_i|^2$$

$$i \neq j \Rightarrow [V_j] \frac{\partial Q_i}{\partial [V_j]} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j}$$

Perubahan sudut magnitud tegangan

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \frac{\Delta |V_i|}{|V_i|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J11 & J12 \\ J21 & J22 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}$$

Sudut dan magnitud tegangan yang baru

$$\delta_i^k = \delta_i^{k-1} + \Delta \delta_i$$

$$V_i^k = V_i^{k-1} \cdot \left( 1 + \frac{\Delta [V_i]}{[V_i]} \right)$$

Indikasi konvergen

$$|\Delta P|_{max} \leq 0,001 \quad \text{dan} \quad |\Delta Q|_{max} \leq 0,001$$

## 2.2 Batasan Tegangan pada Operasi Sistem

Batasan tegangan sesuai standar yang ditetapkan oleh kementerian ESDM melalui aturan jaringan Sumatera tahun 2008 adalah sebagai berikut :

**Tabel 2.1 Tabel Standar Tegangan**

Tegangan Nominal	Kondisi Normal
275 kV	+ 10%, - 10%
150 kV	+ 10%, - 10%
66 kV	+ 10%, - 10%
20 kV	+ 10%, - 10%

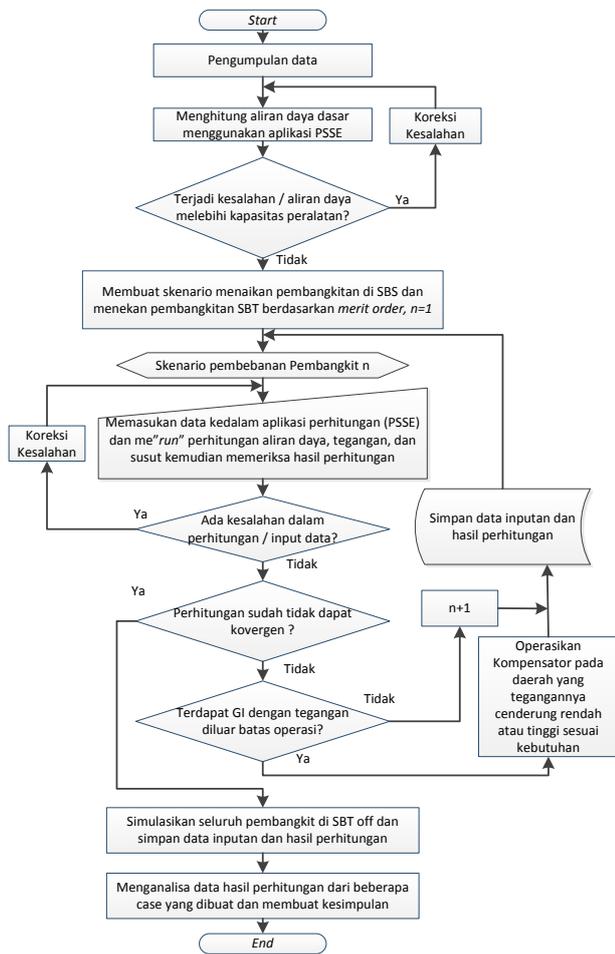
## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam menghitung aliran daya dasar, kemudian disesuaikan dengan batas thermal (kapasitas) dari data instalasinya agar saat melakukan simulasi aliran daya tidak melewati kemampuan peralatan, lalu dari data aliran daya dasar tersebut dibuat skenario pengoptimalan daya pembangkit pada subsistem Sumbagsel dan menekan daya pembangkit pada Subsistem Sumbagteng untuk menaikkan transfer daya pada jalur transmisi 275 kV. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya :

- Data rencana pembebanan setiap trafo dan generator.
- Data impedansi dan kapasitas setiap saluran, generator, dan trafo, serta nilai pembebanan minimum dan maksimum tiap-tiap generator.
- Data merit order Pembangkit.

Dari data merit order dan generator yang telah didapatkan kemudian dilakukan pembuatan skenario pembebanan pembangkit untuk menguji nilai transfer daya maksimum antar Subsistem. Perhitungan aliran daya dasar dan masing-masing skenario yang telah dibuat kemudian dijadikan bahan untuk dianalisis.



**Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian**

## 3.2 Metoda Pengolahan Daya

### 3.2.1 Perhitungan Aliran Daya Menggunakan PSSE

PSSE (Power System Simulator for Engineering) adalah perangkat lunak dengan pabrikan dari merek SIEMENS yang dapat digunakan untuk mensimulasikan jaringan sistem tenaga listrik. Penggunaan aplikasi PSSE dapat mempermudah perhitungan aliran daya suatu sistem tenaga listrik pada komputer.

Penggunaan aplikasi ini untuk mempermudah perhitungan aliran daya dasar dan menghitung aliran daya dari masing-masing skenario yang telah dibuat.

### 3.2.2 Perhitungan Aliran Daya Dasar

Perhitungan aliran daya dilakukan menggunakan perangkat lunak PSSE dengan metoda Newton Raphson untuk mengetahui nilai-nilai tegangan pada setiap bus, besaran arus, daya aktif, dan reaktif yang mengalir pada setiap saluran transmisi pada beban puncak tertinggi sesuai rencana operasi (pada kondisi normal) sebagai

dasar untuk membuat beberapa skenario yang akan dilakukan.

### 3.2.3 Skenario Pembebanan Pembangkit

Skenario pembebanan pembangkit dibuat berdasarkan data merit order Pembangkit untuk mengoptimalkan energi murah dalam suatu operasi sistem tenaga listrik. Pembangkit yang belum maksimal bebannya dan memiliki urutan merit order teratas pada subsistem Sumbagsel akan dinaikan bebannya 1 MW kemudian Pembangkit yang masih bisa diturunkan bebannya dan memiliki urutan merit order terendah pada subsistem SBT akan diturunkan bebannya 1 MW kemudian dilakukan perhitungan aliran daya. Jika dari hasil aliran daya tersebut tegangan pada bus belum ada yang menyentuh batas atas atau batas bawah yang diizinkan maka dilakukan iterasi selanjutnya hingga terdapat tegangan di salah satu bus yang menyentuh batas aman operasi sesuai aturan jaringan.

## 3.3 Metode Analisis Data

### 3.3.1 Perhitungan Aliran Daya Masing-Masing Skenario

Hasil dari pembuatan skenario pembebanan yang telah dibuat kemudian di-input dan disimulasikan satu persatu pada perangkat lunak PSSE untuk diketahui hasil perhitungan aliran daya-nya. Data inputan dan hasil perhitungan setiap skenario disimpan untuk dianalisa.

### 3.3.2 Pengoperasian Kompensator pada Skenario Pembebanan Pembangkit

Setelah skenario pembebanan pembangkit dibuat dan dilakukan iterasi maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah mensimulasikan pengoperasian kompensator kapasitor pada daerah yang memiliki nilai tegangan yang rendah dan kompensator reaktor pada daerah yang memiliki nilai tegangan yang tinggi kemudian dilakukan iterasi kembali sesuai dengan skenario pembebanan Pembangkit untuk mencari nilai maksimal dari transfer daya listrik subsistem SBT dan SBS dengan nilai tegangan pada semua bus berada pada nilai yang tidak melanggar batas operasi.

### 3.3.3 Analisa Susut pada Masing-Masing Skenario Aliran Daya

Setelah melakukan perhitungan aliran daya pada setiap skenario pembebanan pembangkit, maka dilakukan pengambilan data nilai susut pada setiap perhitungan aliran daya yang telah dilakukan dan dilakukan analisisnya.

### 3.3.4 Percobaan Simulasi dengan Seluruh Pembangkit SBT Dinonaktifkan

Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui apa yang terjadi jika seluruh generator pembangkit pada subsistem SBT dinonaktifkan, namun terlebih dahulu memperhitungkan kecukupan daya generator pengganti.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

#### 4.1.1 Aliran Daya Dasar Pada Beban Puncak Sistem SBST

Hasil simulasi aliran daya dasar sesuai rencana operasi tanggal 22 Desember 2017 pada aplikasi PSSE dengan rincian pada tabel berikut :

**Tabel 4.1 Tabel Data Hasil Simulasi Aliran Daya Sistem SBST**

Transfer Daya (MW)	SBS -> SBT	
	SBS	SBT
	203.6	1135.3
Pembangkit (MW)	SBS	2020.6
	Total	3155.9
Beban (MW)	SBT	1440.6
	SBS	1874.1
	Total	3049.9
Susut (%)	3.48	

Sumber : PT PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Operasi Sistem tahun 2017 (telah diolah kembali)

Pada simulasi tersebut yang menjadi bus referensi atau swing bus adalah pada PLTA Musi yaitu bus no : 6902, 6903, dan 6904 dengan sudut tegangan diset pada 0°, bus tersebut berada pada subsistem SBS.

#### 4.1.2 Skenario Pembebanan Pembangkit

Daya maksimal Pembangkit pada subsistem SBS adalah sebesar 3141,596 MW sehingga cadangan daya yang dimiliki adalah sebesar 1121,0192, jika dibuat skenario dengan kenaikan transfer 1 MW, skenario yang dapat dibuat adalah sebanyak 1121 skenario.

Daya Pembangkit pada subsistem SBT adalah sebesar 1135,28 MW sehingga jika dibuat skenario penurunan beban dengan kelipatan 1 MW, skenario yang dapat dibuat adalah 1135 skenario.

Kapasitas transmisi yang menghubungkan subsistem SBS dan SBT adalah sebesar 2 x 765 MVA = 1530 MVA, dengan transfer pada aliran

daya sebelumnya adalah sebesar 203,6 MW, maka banyaknya skenario yang dapat dibuat dengan kenaikan transfer 1 MW adalah sebanyak 1326 skenario.

Dari uraian diatas maka skenario maksimum maka skenario terkecil yang dapat dibuat dengan selisih perubahan daya 1 MW per skenario adalah 1121 Skenario.

#### 4.1.3 Hasil Perhitungan Aliran Daya Sesuai Skenario

Setelah skenario pembebanan pembangkit dibuat, tahap selanjutnya adalah menghitung aliran daya dari masing-masing skenario yang dibuat tersebut dengan menggunakan perangkat lunak PSSE.

Hasil perhitungan skenario 491 pada perangkat lunak PSSE terjadi mismatch perhitungan dikarenakan beberapa bus pengontrol tegangan (PV Bus) sudah memaksimalkan keluaran daya reaktif generator pembangkitnya namun nilai tegangan pada bus tersebut tidak sesuai dengan nilai tegangan terjadwal, sehingga perhitungan aliran daya dilakukan hanya dari skenario 1 s.d. skenario 481 dengan skenario yang disimulasikan adalah skenario kelipatan 10.

Besar total daya generator pembangkit, besar transfer daya antar subsistem, dan besar susut hasil simulasi setiap skenario dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 4.2 Tabel Hasil Daya Pembangkit, Transfer Daya, dan Susut**

Skenario	Transfer Daya (MW)		Pembangkit (MW)			Susut (%)
	SBS -> SBT	SBT	SBS	Total		
Base	203.6	1135.3	2020.6	3155.9	3.48	
1	204.6	1134.3	2021.6	3155.9	3.48	
11	214.4	1124.3	2031.9	3156.2	3.48	
21	224.4	1114.3	2042.2	3156.5	3.49	
31	234.4	1104.3	2052.6	3156.9	3.51	
41	244.4	1094.3	2063.1	3157.3	3.52	
51	254.6	1084.3	2068.1	3152.4	3.36	
61	264.8	1074.3	2084.6	3158.9	3.57	
71	275	1064.3	2095.4	3159.7	3.60	
81	285.4	1054.3	2106.3	3160.6	3.63	
91	295.6	1044.3	2117.0	3161.3	3.65	
101	306.2	1034.3	2128.3	3162.6	3.69	
111	316.4	1024.3	2139.1	3163.3	3.72	
121	326.6	1014.3	2150.0	3164.3	3.75	
131	337	1004.3	2161.0	3165.3	3.78	
141	347.4	994.3	2172.2	3166.5	3.82	
151	358	984.3	2181.8	3166.1	3.81	
161	368.6	974.3	2185.5	3159.8	3.60	
171	379.4	964.3	2194.9	3159.2	3.58	
181	390.2	954.3	2206.8	3161.1	3.64	
191	400.8	944.3	2218.4	3162.7	3.70	
201	411.4	934.3	2230.0	3164.3	3.75	
211	422.2	924.3	2241.8	3166.0	3.81	
221	433	914.3	2253.7	3168.0	3.87	
231	444	904.3	2233.6	3137.9	2.89	

Skenario	Transfer Daya (MW)	Pembangkit (MW)			Susut (%)	
		SBS ->	SBT	SBS		Total
		SBT				
241	455	894.3	2242.7	3137.0	2.85	
251	466.2	884.3	2252.2	3136.5	2.84	
261	477.4	874.3	2264.5	3138.8	2.91	
271	488.8	864.3	2277.3	3141.6	3.01	
281	500.2	854.3	2289.9	3144.2	3.09	
291	511.8	844.3	2302.8	3147.0	3.18	
301	523.6	834.3	2315.8	3150.1	3.28	
311	535.2	824.3	2328.7	3153.0	3.38	
321	546.4	814.3	2341.5	3155.8	3.47	
331	557.6	804.3	2354.1	3158.4	3.56	
341	574	794.3	2377.2	3171.4	3.98	
351	586	784.3	2393.3	3177.6	4.19	
361	600.4	774.3	2409.8	3184.1	4.40	
371	609.8	764.3	2424.9	3189.2	4.57	
381	622.2	754.3	2441.5	3195.7	4.78	
391	633.8	744.3	2457.5	3201.8	4.98	
401	644.8	734.3	2470.2	3204.5	5.07	
411	655.8	724.3	2483.3	3207.6	5.17	
421	666.8	714.3	2495.0	3209.2	5.22	
431	677.8	704.3	2508.0	3212.3	5.32	
441	689.8	694.3	2522.5	3216.7	5.47	
451	703.2	684.3	2538.5	3222.8	5.67	
461	717	674.3	2555.3	3229.6	5.89	
471	727.2	664.3	2564.9	3229.2	5.88	
481	738.6	654.3	2581.5	3235.7	6.09	
491	760.4	644.3	2616.2	3260.4	6.90	

Sumber : PT PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Operasi Sistem tahun 2017 (telah diolah kembali)

Skenario	Kompensator				
	Bus	KPNANG 150.00	GSKTI 150.00	DURI20 20.000	DURI 150.00
	Kapasitas	1 x 25 MVAR	3 x 25 MVAR	1 x 6 MVAR	1 x 5 MVAR
241		0	0	0	0
251		0	0	0	0
261		0	0	0	0
271		0	0	0	0
281		0	0	0	0
291		0	0	0	0
301		0	0	0	0
311		0	0	0	0
321		0	0	0	0
331		0	0	0	0
341	25	0	0	0	0
351	25	0	0	6	0
361	25	75	75	6	5
371	25	75	75	6	5
381	25	75	75	6	5
391	25	75	75	6	5
401	25	75	75	6	5
411	25	75	75	6	5
421	25	75	75	6	5
431	25	75	75	6	5
441	25	75	75	6	5
451	25	75	75	6	5
461	25	75	75	6	5
471	25	75	75	6	5
481	25	75	75	6	5
491	25	75	75	6	5

Sumber : PT PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Operasi Sistem tahun 2017 (telah diolah kembali)

**Tabel 4.3 Tabel Pengoperasian Kompensator SBT Tiap Skenario**

Skenario	Kompensator				
	Bus	KPNANG 150.00	GSKTI 150.00	DURI20 20.000	DURI 150.00
	Kapasitas	1 x 25 MVAR	3 x 25 MVAR	1 x 6 MVAR	1 x 5 MVAR
Base		0	0	0	0
1		0	0	0	0
11		0	0	0	0
21		0	0	0	0
31		0	0	0	0
41		0	0	0	0
51		0	0	0	0
61		0	0	0	0
71		0	0	0	0
81		0	0	0	0
91		0	0	0	0
101		0	0	0	0
111		0	0	0	0
121		0	0	0	0
131		0	0	0	0
141		0	0	0	0
151		0	0	0	0
161		0	0	0	0
171		0	0	0	0
181		0	0	0	0
191		0	0	0	0
201		0	0	0	0
211		0	0	0	0
221		0	0	0	0
231		0	0	0	0

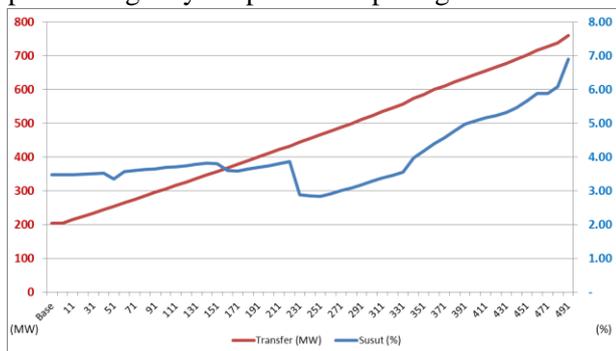
**Tabel 4.3 Tabel Hasil Nilai Tegangan Diluar Standar pada Tiap Skenario di Subsistem SBT**

Skenario	Tegangan Bus Terendah (p.u.)				
	KPNANG	DURI	DUMAI	BBATU	BPNGT
Base	0.9758	0.9843	0.9659	0.9789	1
1	0.9758	0.9843	0.9659	0.9789	1
11	0.9756	0.9841	0.9657	0.9787	0.9998
21	0.9753	0.9838	0.9654	0.9784	0.9995
31	0.9749	0.9835	0.9651	0.978	0.9992
41	0.9749	0.9835	0.9651	0.978	0.9992
51	0.9749	0.9835	0.9651	0.978	0.9992
61	0.9749	0.9835	0.965	0.978	0.9991
71	0.9748	0.9834	0.965	0.978	0.9991
81	0.9748	0.9834	0.965	0.9779	0.9991
91	0.9744	0.983	0.9646	0.9775	0.9987
101	0.9746	0.9832	0.9648	0.9777	0.9989
111	0.9742	0.9828	0.9644	0.9773	0.9985
121	0.9737	0.9824	0.9639	0.9768	0.9981
131	0.9708	0.9796	0.9611	0.9739	0.9954
141	0.9703	0.9791	0.9605	0.9734	0.9949
151	0.9673	0.9762	0.9576	0.9704	0.9921
161	0.9667	0.9756	0.957	0.9699	0.9916
171	0.9663	0.9753	0.9567	0.9695	0.9912
181	0.9632	0.9723	0.9536	0.9664	0.9883

Skenario	Tegangan Bus Terendah (p.u.)				
	KPNANG	DURI	DUMAI	BBATU	BPNGT
191	0.9632	0.9723	0.9536	0.9664	0.9883
201	0.963	0.9721	0.9534	0.9662	0.9882
211	0.963	0.9721	0.9534	0.9662	0.9882
221	0.963	0.9721	0.9534	0.9662	0.9881
231	0.963	0.9721	0.9534	0.9662	0.9881
241	0.9626	0.9717	0.953	0.9658	0.9878
251	0.9624	0.9715	0.9528	0.9656	0.9876
261	0.9617	0.9708	0.9521	0.9649	0.987
271	0.9606	0.9698	0.951	0.9638	0.9859
281	0.9593	0.9685	0.9497	0.9625	0.9847
291	0.9579	0.9672	0.9484	0.9611	0.9834
301	0.9564	0.9657	0.9469	0.9596	0.982
311	0.9554	0.9648	0.9459	0.9586	0.9811
321	0.955	0.9644	0.9455	0.9582	0.9807
331	0.9546	0.9641	0.9452	0.9579	0.9804
341	0.9462	0.9221	0.9021	0.9385	0.9343
351	0.9477	0.9234	0.9035	0.9398	0.9342
361	0.9293	0.9066	0.8862	0.9219	0.917
371	0.9265	0.904	0.8835	0.9191	0.9146
381	0.9234	0.9011	0.8806	0.916	0.9118
391	0.9213	0.8992	0.8786	0.914	0.91
401	0.9206	0.8986	0.8779	0.9133	0.9094
411	0.9197	0.8978	0.8771	0.9124	0.9086
421	0.9191	0.8972	0.8765	0.9118	0.9081
431	0.9185	0.8966	0.8759	0.9112	0.9076
441	0.9161	0.8944	0.8736	0.9089	0.9055
451	0.9117	0.8904	0.8695	0.9045	0.9016
461	0.9062	0.8854	0.8643	0.8992	0.8968
471	0.9066	0.8857	0.8647	0.8995	0.8972
481	0.9025	0.882	0.8609	0.8956	0.8937
491	0.9023	0.8817	0.8606	0.8953	0.8934

Sumber : PT PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Operasi Sistem tahun 2017 (telah diolah kembali)

Dari nilai transfer daya pada tabel 4.2, dapat dianalisa bahwa terjadi kenaikan transfer daya antar subsistem yang naik secara linier dan kenaikan susut yang cenderung meningkat, untuk perbandingannya dapat dilihat pada grafik berikut :



**Gambar 4.1 Grafik Transfer Daya dan Susut Terhadap Skenario**

#### 4.1.4 Simulasi Seluruh Generator Pembangkit SBT Dinonaktifkan

Sebelum melakukan simulasi ini, perlu dihitung terlebih dahulu kecukupan daya generator pengganti daya generator pembangkit subsistem SBT yang di nonaktifkan. Daya pemabangkit

subsistem SBT pada aliran daya dasar adalah sebesar 1135 MW, sedangkan untuk cadangan daya Pembangkit pada Subsistem SBS adalah sebesar :

Total cadangan = P Gen Max – P Gen Dasar

Total cadangan SBS = 3141 MW – 2020 MW

Total cadangan SBS = 1121 MW

Jika dilihat dari hasil perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan aliran daya dengan menonaktifkan seluruh pembangkit subsistem SBT tidak dapat dilakukan karena cadangan daya pembangkit pada subsistem SBS untuk menggantikan generator pembangkit subsistem SBT yang akan dinonaktifkan tidak mencukupi.

## 4.2 Pembahasan

Skenario pembebanan Pembangkit yang dapat dibuat dengan mempertimbangkan besar cadangan daya Pembangkit pada Subsistem SBS, besar daya Pembangkit yang bisa diturunkan pada Subsistem SBT, dan besar kapasitas saluran yang menghubungkan kedua Subsistem tersebut adalah dengan mencari nilai terkecil dari ketiga kriteria tersebut, dan hasilnya didapat adalah sebanyak 1121 skenario. Daya Pembangkit memiliki batas maksimum dan batas minimum sehingga tidak dapat dioperasikan secara terus-menerus dibawah daya minimumnya atau diatas daya maksimumnya, atau pada besaran daya tertentu sesuai spesifikasi masing-masing Pembangkit, hal tersebut membuat pembuatan skenario pembebanan Pembangkit tidak boleh dibuat melewati batasan daya tersebut.

Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa kompensator mulai dioperasikan pada skenario 341, artinya pada skenario 341 sudah mulai terjadi tegangan rendah yang nilainya dibawah standar grid code. Kemudian pada skenario selanjutnya dioperasikan kapasitor untuk menanggulangi bus yang mengalami drop tegangan, dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pada mulai skenario 361 sudah ada bus yang nilai tegangannya berada diluar standar grid code yaitu sebesar 0.8862 p.u, padahal pengoperasian kapasitor sudah dilakukan secara maksimum, artinya batas transfer daya maksimal subsistem SBS menuju subsistem SBT yang diizinkan agar tidak ada bus yang tegangannya diluar standar grid code pada simulasi ini adalah pada skenario 351 dengan transfer daya sebesar 586 MW.

Perhitungan aliran daya sesuai skenario pembebanan Pembangkit yang dapat dilakukan hanya sampai dengan skenario 481 dikarenakan pada perhitungan skenario 491 hasil simulasi aliran

daya tidak dapat konvergen dikarenakan terdapat mismatch yang besar, namun setelah dilakukan pencarian komposisi daya Pembangkit secara acak dengan total yang sama pada masing-masing subsistem, hasil perhitungan dapat konvergen akan tetapi pada langkah selanjutnya dilakukan lagi pencarian komposisi daya Pembangkit secara acak agar perhitungan dapat konvergen namun hasilnya tidak ditemukan sehingga dapat analisa bahwa transfer daya maksimal yang dapat disimulasikan adalah skenario 481.

Grafik susut yang tidak linier terhadap skenario disebabkan pembuatan skenario didasari urutan merit order pembangkit dan merit order pembangkit tidak berurut berdasarkan lokasi pembangkit, sehingga bila perpindahan skenario menyebabkan perubahan konfigurasi pembangkit antar daerah, maka akan menyebabkan perubahan susut total yang signifikan dikarenakan perubahan regional balance.

Dilihat dari hasil perhitungan aliran daya pada masing-masing skenario dapat dilihat bahwa faktor yang mempengaruhi perubahan aliran daya sangat banyak dikarenakan banyaknya jumlah generator pembangkit pada sistem, konfigurasi, dan komposisi yang mungkin terjadi sehingga untuk memperhitungkan apa yang akan terjadi pada aliran daya harus dilakukan pendekatan yang khusus agar hasil dari perhitungan tersebut dapat dijadikan acuan atau gambaran terhadap apa yang akan terjadi di lapangan.

Dilihat dari kecukupan daya dan hasil perhitungan skenario maksimum yang dilakukan maka dapat dikatakan bahwa perhitungan simulasi jika seluruh generator Pembangkit pada Subsistem SBT dinonaktifkan tidak dapat dilakukan.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Besar transfer daya listrik meminimalkan pembangkitan daya pada pembangkit subsistem, studi kasus Subsistem 275 kv Sumbagsel – Sumbagteng PT PLN (Persero) P3BS adalah sebagai berikut :

1. Tanpa pengoperasian kompensator agar tegangan pada Subsistem SBT tidak melanggar grid code adalah sebesar 557,6 MW dengan total daya generator pada subsistem SBT adalah sebesar 804 MW dan pada subsistem SBS adalah sebesar 2354,1 MW, dan total susut adalah 3,56%.

2. Dengan pengoperasian kompensator agar tegangan pada Subsistem SBT tidak melanggar grid code adalah sebesar 586 MW dengan total daya generator pada subsistem SBT adalah sebesar 784,3 MW dan pada subsistem SBS adalah sebesar 2393,3 MW, dan total susut adalah sebesar 4,19%.
3. Besar transfer daya tertinggi yang dapat dihitung pada penelitian ini adalah sebesar 738,6 MW dengan total daya generator pada subsistem SBT adalah sebesar 654,3 MW dan pada subsistem SBS adalah sebesar 2581,5 MW, dan total susut adalah 6,09%.

### 5.2 Saran

Berdasarkan proses dan hasil penyusunan penelitian ini, penulis memberikan saran kepada pihak-pihak yang terkait dengan penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung, diantaranya:

1. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan atau gambaran dalam pengoperasian sistem tenaga listrik selama parameter yang digunakan tidak berbeda jauh dengan apa yang ada pada penelitian ini.
2. Untuk mengoptimalkan pengoperasian sistem tenaga listrik agar lebih efisien dengan peralatan yang ada perlu didukung dengan perencanaan yang matang dan strategi yang baik.
3. Untuk meningkatkan ilmu pengetahuan dan juga dapat dijadikan sebagai alternatif dalam menyelesaikan persoalan ilmiah yang belum dipecahkan oleh perusahaan dan dapat digunakan bahan penelitian bagi mahasiswa, agar perusahaan dapat melakukan knowledge sharing kepada masyarakat khususnya mahasiswa.
4. Untuk meningkatkan kehandalan sistem tenaga listrik agar dapat direncanakan membuat jaringan looping yang lebih banyak sehingga jika terjadi gangguan pada satu jalur, dapat di-backup dengan jalur lain yang masih terhubung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Djiteng Marsudi. (2006). Operasi Sistem Tenaga Listrik. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Rencana Operasi Harian PT PLN (Persero) P3B Sumatera.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral no. 37 tahun 2008 tentang Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Sumatera.
- Stevenson, Willian D., dan Grainger, John J.. (1994). Power System Analysis. New York : McGraw-Hill International Edition.
- Jaka Wibowo, dkk. Studi Kemampuan Transfer Daya Maksimum Dengan Kendala Stabilitas Tegangan Pada Interkoneksi Sumbagsel. Jurnal, Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Milano, Federico, Continous Newton's Methode for Power Flow Analysis, IEEE Transaction On Power Systems, Vol. 24, No. 1, February 2009, pp. 50-57.
- Ferdian Ariesta Adhi Chandra, dkk (2013). Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Probabilistik Pada Sistem Interkoneksi 500 Kv Jawa-Bali. Jurnal Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Sudirham, Sudaryatno. (2012). Analisis Sistem Tenaga. Bandung : [www.buku-elipi.go.id](http://www.buku-elipi.go.id).
- Materi Kuliah Pelajaran Penggunaan Komputer Dalam Sistem Tenaga. Dian Yayan Sukma, S.T., M.T. Universitas Riau. Harun,
- Ervan Hasan. Taufiq Ismail Yusuf. (2012). Analissi Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik 150 kV Gorontalo Menggunakan Metode Newton Rhapson. Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Elektro, Falkultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo.
- Simadiyana, Achmad Bambang. (2009). Simulasi Aliran Daya SIstem 150 kV Region Jakarta-Banten Dengan Perbandingan Sistem Grid dan IBT. Skripsi, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- Keskin, Mehmet B.. (2007). Continuation Power Flow And Voltage Stability In Power Systems. Tesis, Middle East Technical University.