

# STUDI ALIRAN DAYA PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV YANG TERINTERKONEKSI DENGAN DISTRIBUTED GENERATION (STUDI KASUS: PENYULANG PM.6 GI PEMATANG SIANTAR)

Rimbo Gano <sup>(1)</sup>, Zulkarnaen Pane <sup>(2)</sup>

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)  
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA  
e-mail: [rimbogano7@gmail.com](mailto:rimbogano7@gmail.com)

## Abstrak

*Distributed Generation* (DG) dapat didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan skala kecil yang ditempatkan pada sisi beban dan diinterkoneksikan pada jaringan distribusi. Dengan adanya DG pada jaringan distribusi maka akan berdampak pada operasi sistem distribusi itu sendiri. Untuk mengetahui kondisi operasional sistem jaringan distribusi yang terinterkoneksi dengan DG perlu dilakukan studi aliran daya. Pada Tulisan ini dilakukan studi aliran daya pada jaringan distribusi 20 kV penyulang PM.6 GI Pematang Siantar yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan menggunakan program komputer. Pada saat kondisi kedua pembangkit tidak beroperasi, aliran daya bergerak satu arah dari GI Pematang Siantar menuju pusat-pusat beban, serta tegangan di sepanjang saluran mengalami penurunan, di ujung saluran pada bus 869 sebesar 9,92% dengan posisi tap 1 (165,75 kV) pada transformator daya 2. Sebaliknya dengan beroperasinya kedua pembangkit aliran daya tidak bergerak satu arah lagi, serta tegangan di sepanjang saluran mengalami kenaikan dibanding tanpa adanya DG, di ujung saluran pada bus 869 hanya mengalami penurunan sebesar 3,92% dengan posisi tap 5 (156,75 kV). PLTM Aek Silau 2 mampu untuk melayani seluruh beban daya aktif pada penyulang PM.6, tidak dengan PLTMH tonduhan hanya mampu untuk melayani beban di sekitarnya.

**Kata Kunci:** studi aliran daya, jaringan distribusi 20 kV, *distributed generation*

## 1. Pendahuluan

Pada saat sekarang pembangkit listrik energi terbarukan menjadi salah satu pilihan dalam meningkatkan kebutuhan masyarakat terhadap listrik yang tiap tahun semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi penduduk. Pembangkit energi terbarukan yang menghasilkan energi listrik dalam skala kecil dan ditempatkan di sisi pusat beban yang diinterkoneksikan dengan jaringan distribusi, untuk pembangkit listrik yang demikian dinamakan *Distributed Generation* (DG) [1].

Dengan adanya DG pada jaringan distribusi maka akan berdampak pada operasi sistem distribusi itu sendiri. DG akan merubah aliran daya pada jaringan distribusi, sehingga sistem distribusi tidak lagi sebagai aliran daya yang satu arah. Selain itu DG juga dapat merubah profil tegangan pada jaringan distribusi [2]. Untuk itu perlu dilakukan studi aliran daya untuk mengetahui besar tegangan, daya aktif, dan daya reaktif pada setiap bus. Studi aliran daya dilakukan untuk melihat status operasi

sistem yang normal setelah dilakukan interkoneksi DG pada jaringan distribusi [3].

## 2. Studi Aliran Daya pada Jaringan Distribusi yang Terinterkoneksi DG

### 1.1 *Distributed Generation*

*Distributed generation* dapat didefinisikan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan skala kecil (di bawah 10 MW) yang ditempatkan pada sisi beban dan diinterkoneksikan pada jaringan distribusi [4].

#### a. *Small Hydro Power*

*Small hydro power* memanfaatkan tenaga air sebagai sumber energi utama. Istilah lain yang sering digunakan adalah *miny hidropower* dengan kapasitas 100 kW sampai dengan 1 MW, dan *micro hidropower* dengan kapasitas dibawah 100 kW.

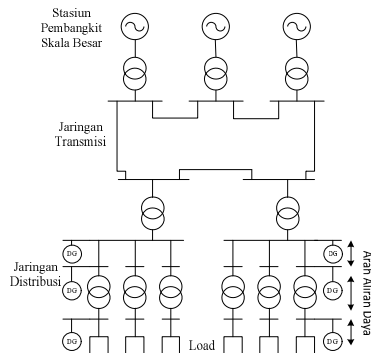
#### b. Keuntungan *Distributed Generation*

Ada beberapa keuntungan dengan diinterkoneksikannya DG, diantaranya [5]:

1. Meningkatkan ketersediaan dan kehandalan dari energi listrik.
2. Dapat mengurangi beban puncak.
3. Dapat menghemat energi, karena sumber energi utama DG memanfaatkan energi yang terbarukan.
4. Dapat menjadi alternatif untuk kompensasi daya reaktif, karena jika diinterkoneksi pada jaringan yang telah ada dapat mengurangi rugi-rugi daya.
5. Mengurangi harmonisa dan tegangan kedip.
6. DG bersifat ramah lingkungan, karena emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan rendah.

#### c. Dampak Interkoneksi *Distributed Generation*

Dengan ditinggalkannya sistem tenaga listrik konvensional, tentu saja akan merubah operasi sistem dan kontrol pada sistem tenaga listrik. Tanpa diinterkoneksi DG pada jaringan distribusi, arah aliran daya pada sistem selalu bergerak satu arah dari stasiun pusat pembangkit sampai pada beban, dengan diinterkoneksi DG pada jaringan distribusi akan berdampak pada pola aliran daya, aliran daya tidak bergerak satu arah lagi dengan adanya DG. Akibatnya, akan berdampak pada operasi sistem dan kontrol jaringan distribusi. Interkoneksi DG pada jaringan distribusi dapat dilihat pada Gambar 1 [1].



Gambar 1 Interkoneksi DG pada Jaringan Distribusi

#### 1.2 Studi Aliran Daya

Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besar tegangan dan sudut fasa setiap bus pada kondisi tunak dan dengan beban seimbang. Hasil perhitungan ini dilakukan untuk mengukur daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada jaringan, besarnya daya aktif dan daya reaktif yang harus dibangkitkan pada stasiun pembangkit, serta

rugi-rugi daya pada jaringan. Setiap bus dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 tipe bus, yaitu:

1. Bus beban (bus PQ), pada bus beban variabel yang diketahui adalah daya aktif dan daya Reaktif, sedangkan besar tegangan dan sudut fasanya dihitung.
2. Bus generator (bus P-V), pada bus generator variabel yang diketahui adalah besar tegangan dan daya aktif, sedangkan sudut fasa tegangan dan daya reaktif dihitung.
3. Bus referensi, pada bus referensi variabel yang diketahui adalah besar tegangan dan sudut fasanya, sudut fasa pada bus referensi menjadi acuan untuk sudut fasa tegangan pada bus yang lain.

#### a. Metode *Newton-Raphson*

Untuk menerapkan metode *Newton-Raphson* pada penyelesaian persamaan aliran daya kita menyatakan tegangan bus dan admitansi saluran dalam bentuk polar, seperti pada Persamaan (1) dan (2) [6].

$$P_i = V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \quad (1)$$

$$Q_i = -Im \{ V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \} \quad (2)$$

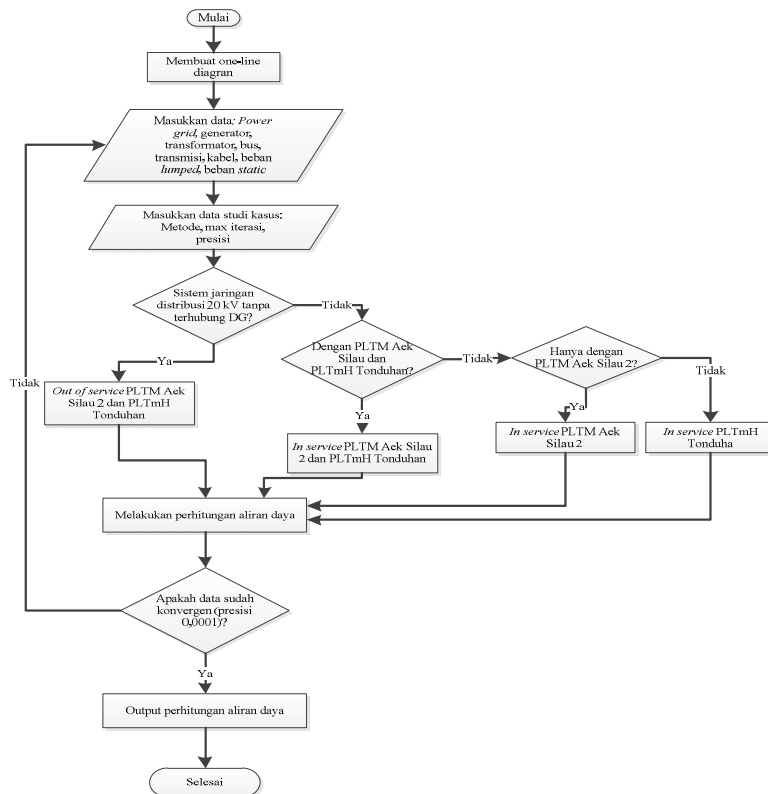
dimana  $P_i$  adalah besar daya aktif pada bus ke-i;  $Q_i$  adalah besar daya reaktif pada bus ke-i;  $V_i^*$  adalah besar tegangan pada bus ke-i;  $V_n$  adalah besar tegangan pada bus ke-n; dan  $Y_{in}$  adalah besar admitansi antara bus ke-i dan bus ke-n.

Hasil perhitungan daya menggunakan Persamaan (1) dan (2) akan diperoleh nilai  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$ . Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i \text{ spec}} - P_{i \text{ calc}} \quad (3)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i \text{ spec}} - Q_{i \text{ calc}} \quad (4)$$

dimana  $P_{i \text{ calc}}^{(k)}$  adalah besar daya aktif perhitungan pada bus ke-i;  $P_{i \text{ spec}}$  adalah besar daya aktif yang diketahui pada bus ke-i;  $Q_{i \text{ calc}}^{(k)}$  adalah besar daya reaktif perhitungan pada bus ke-i;  $Q_{i \text{ spec}}$  besar daya reaktif yang diketahui pada bus ke-i.



Gambar 2 Diagram Alir Studi Aliran Daya Menggunakan Program Komputer

Hasil perhitungan Persamaan (3) dan (4) digunakan untuk membentuk matriks *Jacobian*, persamaan matriks *Jacobian* dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Setelah nilai  $\Delta \delta^{(k)}$  dan  $\Delta |V|^{(k)}$  didapat, kita dapat menghitung nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$ , sehingga diperoleh Persamaan (6) dan (7).

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (6)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (7)$$

Hasil perhitungan Persamaan (6) dan (7) digunakan lagi untuk proses iterasi selanjutnya, yaitu dengan memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (1) dan (2) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Proses ini dilakukan terus menerus yaitu n-iterasi sampai diperoleh nilai yang konvergen.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi 20 kV yaitu pada penyulang PM.6 GI Pematang Siantar yang terinterkoneksi dengan

PLTM Aek Silau 2 2 x 4,5 MW dan PLTMH Tonduhan 2 x 200 kW.

Studi aliran daya dilakukan dengan simulasi menggunakan program komputer, perhitungan aliran daya akan dilakukan terhadap nilai tegangan, daya aktif dan reaktif, dan rugi-rugi daya.

### 2.1 Pengumpulan Data

Pengambilan data penyaluran jaringan distribusi 20 kV dan data PLTMH Tonduhan dilakukan di P.T PLN (Persero), sedangkan PLTM Aek Silau 2 di P.T Bersaudara Simalungun Energi.

### 2.2 Simulasi Aliran Daya Menggunakan Komputer

Dalam melakukan simulasi studi aliran daya menggunakan program komputer, diagram alirnya dapat ditampilkan pada Gambar 2.

### 2.3 Analisis Data

Data keluaran yang diperoleh dari simulasi studi aliran daya akan dianalisis untuk melihat kondisi sistem tenaga listrik jaringan distribusi 20 kV penyulang PM.6 pada saat kondisi terinterkoneksi ataupun tidak dengan DG. Dari

hasil tersebut kita dapat mengetahui pengaruh interkoneksi DG terhadap profil tegangan, daya aktif, daya reaktif, dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 20 kV.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Peninjauan besar tegangan, daya aktif, dan daya reaktif hanya dilakukan pada bus-bus tertentu pada penyulang PM.6, untuk hal ini dilakukan peninjauan pada bus-bus sebagai berikut:

1. Bus 2 yaitu bus 20 kV pada GI Pematang Siantar.
2. Bus 646 yaitu titik interkoneksi PLTmH Tonduhan pada penyulang PM.6.
3. Bus 663 yaitu titik interkoneksi PLTM Aek Silau 2 pada penyulang PM.6.
4. Bus 391 yaitu titik terjauh dari GI sekitar 60 km, yang menuju penyulang PM.1.
5. Bus 869 yaitu titik terjauh dari GI Pematang Siantar sekitar 80 km, yang menuju penyulang KN.2.

#### 3.1 Studi Aliran Daya Tanpa Terinterkoneksi dengan DG

Pada saat dilakukan studi aliran daya pada penyulang PM.6, posisi *on load tap changer* (OLTC) transformator daya 2 (60 MVA) GI Pematang Siantar adalah pada tap 1 (165,75 kV), hal ini dilakukan agar tegangan pada ujung saluran jaringan distribusi 20 kV berada dalam standar tegangan PT. PLN +5% sampai -10% dari tegangan nominal.

##### a. Besar Tegangan dan Aliran Daya

Besar Tegangan dan aliran daya untuk bus-bus tertentu pada penyulang PM.6 tanpa terinterkoneksi dengan DG dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 4 Besar Tegangan dan Aliran Daya Tanpa Terinterkoneksi dengan DG

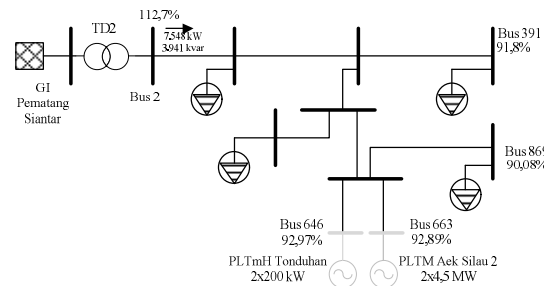
ID Bus	Persen Tegangan (%)	Drop Tegangan (%)	Besar Aliran Daya	
			kW	kvar
Bus 2	112,7	-12,7	7.548	3.941
Bus 646	92,97	7,03	-	-
Bus 663	92,89	7,11	-	-
Bus 391	91,8	8,2	11	4,93
Bus 869	90,08	9,92	10	5

Dikarenakan PLTM Aek Silau 2 (bus 663) dan PLTmH Tonduhan (bus 646) tidak beroperasi, seluruh beban PM.6 hanya dilayani oleh GI Pematang Siantar. Aliran daya bergerak

satu arah dari GI Pematang Siantar menuju pusat-pusat beban pada penyulang PM.6, besar aliran daya dari GI Pematang Siantar untuk melayani seluruh beban pada penyulang PM.6 yaitu sebesar 7.548 kW dan 3.941 kvar, hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.

##### b. Rugi-rugi Daya Saluran

Total rugi-rugi daya tanpa terinterkoneksi dengan *distributed generation* di sepanjang penyulang PM.6 yaitu sebesar 1.008,6 kW dan 2.395,9 kvar.



Gambar 3 Besar Tegangan dan Aliran Daya tanpa Terinterkoneksi DG

#### 3.2 Studi Aliran Daya yang Terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dan PLTmH Tonduhan

Pada saat dilakukan studi aliran daya pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dan PLTmH Tonduhan, posisi OLTC transformator daya 2 (60 MVA) GI Pematang Siantar adalah pada tap 5 (156,75 kV).

##### a. Besar Tegangan dan Aliran Daya

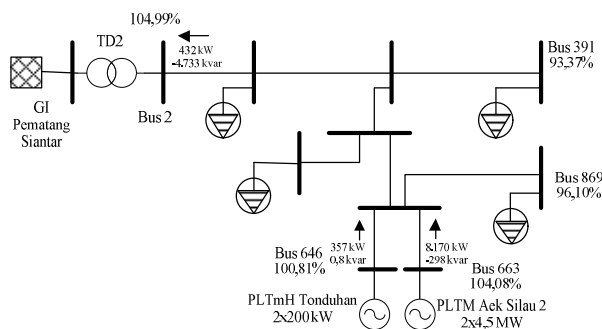
Besar Tegangan dan aliran daya untuk bus-bus tertentu pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dan PLTmH Tonduhan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 5 Besar Tegangan dan Aliran Daya yang Terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dan PLTmH Tonduhan

ID Bus	Persen Tegangan (%)	Drop Tegangan (%)	Besar Aliran Daya	
			kW	kvar
Bus 2	104,99	-4,99	-432	4.733
Bus 646	100,81	-0,81	357	0,8
Bus 663	104,08	-4,08	8.170	-298
Bus 391	93,37	6,73	12	4
Bus 869	96,10	3,90	11	6

Dari Tabel 2, tegangan pada titik interkoneksi PLTM Aek Silau 2 (bus 663) dan PLTmH Tonduhan (bus 646) sebesar 104,08%

dan 100,81%, akibatnya tegangan pada ujung saluran yaitu bus 391 dan bus 869 juga mengalami kenaikan yaitu sebesar 93,37% dan 96,1%, hal ini dikarenakan injeksi daya dari kedua pembangkit. Karena PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan beroperasi pada faktor daya 1, maka kebutuhan daya reaktif jaringan dilayani oleh GI Pematang Siantar sebesar 4.733 kvar. PLTM Aek Silau 2 menyerap daya reaktif dari jaringan sebesar 298 kvar, sedangkan PLTMH tonduhan memberikan daya reaktif ke jaringan sebesar 0,8 kvar. Dengan beroperasinya PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan maka aliran daya tidak bergerak satu arah lagi, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Besar Tegangan dan Aliran Daya yang Terinterkoneksi PLTM Aek Silau dan PLTMH Tonduhan

#### b. Rugi-rugi Daya Saluran

Dengan terinterkoneksi PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan, total rugi-rugi daya penyulang PM.6 yaitu sebesar 1.271 kW dan 2.710,4 kvar. Total rugi-rugi daya mengalami kenaikan sebesar 1,26% untuk daya aktif dan 1,13% untuk daya reaktif dibandingkan tanpa terinterkoneksi *distributed generation*.

#### 3.3 Studi Aliran Daya yang Hanya Terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2

Pada saat dilakukan studi aliran daya pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2, posisi *on load tap changer* transformator daya 2 (60 MVA) GI Pematang Siantar adalah pada tap 5 (156,75 kV).

##### a. Besar Tegangan dan Aliran Daya

Besar Tegangan dan aliran daya untuk busbus tertentu pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 6 Besar Tegangan dan Aliran Daya yang Terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2

ID Bus	Persen Tegangan (%)	Drop Tegangan (%)	Besar Aliran Daya	
			kW	kvar
Bus 2	105	-5	-171	4.638
Bus 646	100,27	-0,27	-	-
Bus 663	103,57	-3,57	8.170	-302
Bus 391	93,13	6,87	11	4
Bus 869	95,67	4,37	11	6

Dari Tabel 3, tegangan pada titik interkoneksi PLTM Aek Silau 2 (bus 663) sebesar 103,57%, akibatnya tegangan pada ujung saluran yaitu bus 391 dan bus 869 juga mengalami kenaikan yaitu sebesar 93,13% dan 95,67%, hal ini dikarenakan injeksi daya dari PLTM Aek Silau 2. Karena PLTM Aek Silau 2 beroperasi pada faktor daya 1, maka kebutuhan daya reaktif jaringan dilayani oleh GI Pematang Siantar sebesar 4.638 kvar. PLTM Aek Silau 2 menyerap daya reaktif dari jaringan sebesar 302 kvar. Dengan beroperasinya PLTM Aek Silau 2 maka aliran daya tidak bergerak satu arah lagi.

#### b. Rugi-rugi Daya Saluran

Dengan hanya terinterkoneksi PLTM Aek Silau 2, total rugi-rugi daya penyulang PM.6 yaitu sebesar sebesar 1.211,2 kW dan 2.634 kvar. Total rugi-rugi daya mengalami kenaikan kenaikan sebesar 1,20% untuk daya aktif dan 1,09% untuk daya reaktif dibandingkan tanpa terinterkoneksi *distributed generation*, hal ini dikarenakan titik interkoneksi PLTM Aek Silau 2 pada jaringan yang tidak optimal.

#### 3.4 Studi Aliran Daya yang Hanya Terinterkoneksi dengan PLTMH Tonduhan

Pada saat dilakukan studi aliran daya pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTMH Tonduhan, posisi *on load tap changer* transformator daya 2 (60 MVA) GI Pematang Siantar adalah pada tap 1 (165,75 kV).

##### a. Besar Tegangan dan Aliran Daya

Besar Tegangan dan aliran daya untuk busbus tertentu pada penyulang PM.6 yang terinterkoneksi dengan PLTM Aek Silau 2 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 7 Besar Tegangan dan Aliran Daya yang Terinterkoneksi dengan PLTMH Tonduhan

ID Bus	Persen Tegangan (%)	Drop Tegangan (%)	Besar Aliran Daya	
			kW	kvar
Bus 2	112,72	-12,72	7.205	3.869
Bus 646	93,96	6,06	357	-0,56
Bus 663	93,87	6,13	-	-
Bus 391	92,40	7,60	11	4
Bus 869	90,94	9,06	10	5

Dari Tabel 4, besar tegangan pada bus 2 sebesar 112,7% hal ini disebabkan posisi *on load tap changer* pada tap 1 (165,75 kV) yang digunakan untuk menaikkan tegangan pada ujung penyulang PM.6 yaitu bus 391 dan bus 869 agar berada dalam standar tegangan PT. PLN, karena injeksi daya dari PLTMH Tonduhan hanya 360 kW dan 10 kvar.

#### b. Rugi-rugi Daya Saluran

Dengan hanya terinterkoneksi PLTMH Tonduhan, total rugi-rugi daya penyulang PM.6 yaitu sebesar 935,6 kW dan 2.262,6 kvar. Total rugi-rugi daya mengalami penurunan sebesar 1,07% untuk daya aktif dan 1,05% untuk daya reaktif dibandingkan tanpa terinterkoneksi *distributed generation*, dikarenakan titik interkoneksi PLTMH Tonduhan sudah optimal pada penyulang PM.6.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan tidak beroperasinya PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan, aliran daya bergerak satu arah dari GI Pematang siantar menuju pusat-pusat beban pada penyulang PM.6 yaitu sebesar 7.548 kW 3.941 kvar, serta terjadi penurunan besar tegangan di sepanjang saluran penyulang PM.6.
2. Pada saat PLTM Aek Silau 2 dan PLTMH Tonduhan beroperasi, beban daya aktif pada penyulang dilayani oleh kedua pembangkit, sedangkan untuk daya reaktif masih dilayani oleh GI Pematang Siantar, serta terjadi kenaikan besar tegangan di sepanjang saluran penyulang PM.6 dibandingkan tanpa terinterkoneksi DG yaitu sebesar 6,26 % pada bus 869.
3. Dengan adanya kelebihan daya aktif yang dihasilkan oleh PLTM Aek Silau dan PLTMH Tonduhan bisa untuk melayani penyulang PM yang lainnya.

4. Besar daya yang dihasilkan oleh PLTMH Tonduhan tidak terlalu berpengaruh pada penyulang PM.6, PLTMH Tonduhan hanya mampu untuk melayani beban di sekitarnya.
5. Total rugi-rugi daya yang paling kecil adalah pada saat hanya terinterkoneksi dengan PLTMH Tonduhan.
6. Dengan beroperasinya PLTM Aek Silau 2 terjadi kenaikan rugi-rugi daya pada saluran akibat penyaluran daya yang besar serta jarak yang jauh dari PLTM Aek Silau 2 ke pusat-pusat beban dan terjadi kenaikan besar daya reaktif yang disuplai oleh GI Pematang Siantar dibandingkan tanpa terinterkoneksi DG.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] Viawan, F. A., "Steady State Operation and Control of Power Distribution Systems in the Presence of Distributed Generation," Thesis for The Degree of Licentiate Engineering, Chalmers University of Technology, Goteborg, 2006.
- [2] Viawan, F. A., "Voltage Control and Voltage Stability of Power Distribution Systems in the presence of Distributed Generation," Thesis for Degree of Doctor of philosophy, Chalmers University Of Technology, goteborg, 2008.
- [3] Gamlath, G., Arulampalam, A. dan S. I, "Electrical System of a Grid Connected 2 MW Mini Hydro Power Project at Siripagama," International Conference on Small Hydropower, Colombo, 2007.
- [4] Purchala, K., Belmans, R., Leuven, K. U., Exarchakos, L. dan L. H. A, "Distributed Generation and The Grid," Imperial College, London.
- [5] Kroposki, B., "DG Power Quality, Protection and Reliability Case Studies," New York, 2003.
- [6] Junior, W. S. D., Power System analysis, New York: McGraw-Hill, Inc, 1984.