

# EFISIENSI PENGGUNAAN ENERGI LISTRIK PADA SISTEM INTERKONEKSI 150 kV NANGGROE ACEH DARUSSALAM MENGGUNAKAN DISTRIBUTED GENERATION

Teuku Hasannuddin<sup>1</sup>, Zamzami<sup>2</sup>, Said Aiyub<sup>3</sup>, Ali Basrah Pulungan<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Email: teukuhasannuddin@pnl.ac.id<sup>1</sup>, z4mz4mi@gmail.com<sup>2</sup>, saidaiyub1@gmail.com<sup>3</sup>, alibp@ft.unp.ac.id<sup>4</sup>

**Abstrak** – Penelitian ini merupakan suatu perancangan dan perhitungan desentralisasi sistem interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam, yakni sistem yang berbasis *distributed generation* (DG) mengganti sistem yang sekarang yang masih bersifat sentralisasi baik dari sisi pengeporasian ataupun terfokusnya pembangkit dengan kapasitas yang besar pada satu daerah, yaitu pembangkit Belawan. Dengan adanya sistem interkoneksi yang berbasis DG ini, maka dapat dioptimalkan penggunaan energi dengan teknik menganalisa ketepatan peletakan DG, menghitung besar kapasitas daya DG dan jenis dari DG. Sehingga pada akhirnya penggunaan energi yang sia-sia dapat dihindarkan atau dikurangi pada sistem interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam. Dari hasil penelitian diperoleh sebuah kesimpulan bahwa efisiensi akan optimal dengan penambahan DG. Namun demikian tidak selamanya penambahan DG akan mendapatkan efisiensi energi, tetapi sangat dipengaruhi oleh tingkat penetrasi DG yang diberikan dalam sistem tersebut. Untuk sistem interkoneksi 150 kV NAD – Sumut dapat disimpulkan bahwa tingkat penetrasi yang optimal dalam penggunaan energi adalah pada penetrasi 20% sampai dengan 100% dari daya pikul beban setiap gardu induk. Efisiensi energi yang optimal terjadi pada tingkat penetrasi 90% dengan besar energi yang terbuang adalah sebesar 0,309 MW dari sebelumnya, yaitu sebesar 27,248 MW. Sehingga dengan adanya penambahan DG mampu diminimalisasikan energi yang terbuang sebesar 26,939 MW.

**Kata kunci:** *efisiensi energi, distributed generation, desentralisasi*

## I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik interkoneksi 150 kV Sumut-NAD yang terdiri dari 7 gardu induk tegangan tinggi (gitet) terjadi peningkatan kebutuhan energi listrik dengan meningkatnya jumlah penduduk dan kemajuan teknologi. Oleh karenanya, kecukupan akan energi listrik perlu ditinjau sehingga mampu menampung kebutuhan energi listrik tersebut kesegnap lapisan masyarakat Aceh.

Permasalahan yang ada bahwa perencanaan sistem tenaga listrik hanya dilakukan untuk beberapa tahun mendatang dan bersifat sentralisasi. Hal ini disebabkan besarnya biaya investasi yang dibutuhkan untuk membangun sistem tenaga listrik yang berskala besar secara sekaligus. Permasalahan berikutnya adalah membangun pembangkit yang berkapasitas besar pada umumnya berpengerak mula turbin uap dan gas membutuhkan biaya operasi yang tinggi untuk bahan bakar dan juga tingkat polusi udara yang tinggi.

Sistem tenaga listrik yang bersifat sentralisasi juga memberi dampak terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik terhadap pelanggan. Hal tersebut terjadi pada sistem interkoneksi 150 kV Sumut-NAD yang terpusat di Belawan. Gangguan eksternal tersebut adalah terputusnya pengiriman energi dari Belawan (Sumatera Utara) ke NAD akibat tumbang tower 150 kV, sehingga sebagian NAD terjadi *black out*. Sistem kelistrikan yang bersifat sentralisasi pada

interkoneksi Sumut-NAD juga memberi pengaruh terhadap tingginya energi yang terbuang. Ini disebabkan akibat jaringan transmisi yang sangat panjang dari Sumut-NAD dan juga tingginya energi yang dikirimkan dari Sumatera Utara.

Oleh sebab itu sentralisasi sistem tenaga listrik mulai ditinggalkan dan beralih kepada desentralisasi sistem tenaga listrik. Desentralisasi sistem tenaga listrik juga dikenal dengan DG, yaitu penempatan pembangkit yang tersebar pada setiap kota dan juga pada daerah yang mengalami kekurangan daya atau pada pusat beban. Pembangkit tersebut dapat berfungsi sebagai pensuplai energi pada saat beban normal, beban puncak ataupun difungsikan sebagai standby generator yang akan difungsikan pada saat terjadi gangguan sehingga keandalan sistem terjaga. Generator ini biasanya berskala kecil yaitu lebih kecil dari 50 MW dan dari jenis tenaga diesel, sel surya, mikro hidro, turbin angin atau yang lainnya[1].

Dengan adanya penempatan DG pada sistem interkoneksi 150 KV Sumut-NAD, tentunya akan memberi dampak pada sistem tersebut, sehingga perlu dilakukan analisa sistem tenaga menyangkut aliran daya untuk mendapatkan efisiensi penggunaan energi dan juga untuk mengantisipasi kemungkinan-kemungkinan buruk yang dapat terjadi dengan sistem DG pada interkoneksi 150 kV Sumut-NAD tersebut.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Braker dan Mello DG pada sistem tenaga listrik akan memberi dampak terhadap rugi-rugi daya, tegangan kedip, harmonik, sistem proteksi, memperbaiki keandalan sistem dan memperbaiki kualitas daya maka harus diperhatikan beberapa faktor diantaranya ukuran atau kapasitasnya, lokasi penempatan DG, karakteristik dinamik dari generator dan karakteristik dari sistem distribusi tersebut[2].

Mithulanathan, dkk (2004) menyimpulkan petakan DG akan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan bila peletakan dan ukuran dari dari generator tersebut sesuai dengan kondisi sistem tersebut. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan pengurangan rugi-rugi daya sebesar 80,72% dari total rugi-rugi sebesar 386,5 kW[3].

Mendez dkk, meneliti pengaruh DG terhadap rugi-rugi pada jaringan distribusi. Penelitian didasarkan pada perbedaan tingkat penetrasi (*penetration level*), penyebaran dan teknologi dari DG. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan secara umum DG dengan tingkat penetrasi yang rendah akan mengurangi rugi-rugi pada sistem distribusi, tetapi untuk tingkat penetrasi yang tinggi secara garis besar rugi-rugi akan bertambah dan bahkan dapat lebih tinggi dari keadaan normal. Namun jika tingkat penyebaran dari DG lebih merata maka dengan tingkat penetrasi yang tinggi akan menghasilkan rugi-rugi yang minimum[4].

Slootweg dan Kling (2002) pengaruh DG terhadap stabilitas transient pada sistem tenaga listrik sangat bergantung pada tingkat penetrasi (*penetration level*) dan jenis dari teknologi DG yang digunakan. DG dari jenis yang menggunakan elektronika daya (*power electronic*) akan mengurangi *overspeeding* pada generator. Dan DG dari jenis generator sinkron akan memberi pengaruh pada penurunan *overspeeding* pada generator tetapi meningkatkan waktu osilasinya. Sedangkan DG dari jenis generator asinkron tidak memberi pengaruh pada stabilitas transient sistem tenaga listrik[5].

## III. METODE PENELITIAN

### A. Tempat Penelitian

Objek yang diteliti dalam penelitian ini adalah sistem tenaga listrik interkoneksi 150 kV Sumut - NAD yang terdiri dari 7 gardu induk tegangan tinggi (gitet). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi 150 kV Sumut - NAD pada saat sebelum dan sesudah pemasangan DG.

### B. GI Sistem 150 kV Sumut-NAD

Pada sistem 150 kV Sumut-NAD terdiri dari 7 (tujuh) GI yang tersebar di beberapa kota propinsi NAD yaitu Banda Aceh, Sigli, Bireun, Lhokseumawe, Idi, Langsa, Tualang Cut. Fungsi GI tersebut adalah menurunkan tegangan 150 kV menjadi 20 kV dengan menggunakan step down transformator dengan kapasitas beragam diantaranya 30 MVA dengan rasio

150/20 kV. Energi listrik dari tegangan distribusi primer 20 kV tersebut kemudian didistribusikan kepada konsumen di lingkungan PT PLN wilayah Aceh. Jarak transfer daya dari GI Pangkalan Brandan sampai dengan Banda Aceh melalui sirkit saluran udara tegangan tinggi (SUTET) sejauh 471,22 km yang menyebabkan banyaknya energi yang terbuang berupa rugi-rugi daya dan drop tegangan yang besar.

### C. Data Saluran Sistem 150 kV Sumut-NAD

Data saluran untuk sistem 150 kV Sumut-NAD seperti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel I  
Datar Saluran Sub Sistem 150 kV Sumut - NAD

N0	Dari Bus	Ke Bus	Panjang (km) ACSR 240 mm <sup>2</sup>
1.	Banda Aceh	Sigli	91,9
2.	Sigli	Bireun	99,2
3.	Bireun	Lhokseumawe	61,3
3.	Lhokseumawe	Idi	82,19
4.	Lhokseumawe	Langsa	128,59
5.	Idi	Langsa	46,3
6.	Langsa	P. Brandan	78,27

### D. Data Beban Puncak Sistem 150 kV Sumut-NAD

Data beban puncak kebutuhan listrik Aceh mencapai 278 MW, dan 110 MW disuplai dari pembangkit listrik di Sumut. Dengan berpedoman pada data diatas dan data kapasitas trafo setiap GI maka dibuat simulasi besar beban untuk setiap GI pada sistem interkoneksi 150 kV Sumut-NAD.

### E. Data DG

Data DG yang direncanakan pada penelitian ini berupa generator sinkron dengan spesifikasi seperti ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel II  
Data DG

No.	Nama GI	MW
1	Banda Aceh	30
2	Sigli	10
3	Bireun	15
4	Lhokseumawe	20
5	Idi	10
6	Langsa	15
7	Tualang Cut	10
Total		110

### F. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati penyaluran energi pada sistem interkoneksi 150 kV Sumut-NAD. Langkah-langkah pelaksanaan penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data-data sistem interkoneksi 150 kV Sumut-NAD menyangkut parameter jaringan, kebutuhan daya setiap GI, daya keluaran setiap pembangkit serta beberapa data lain.

2. Melakukan analisis awal dan menyusunnya secara sistematis untuk kemudian dimasukkan dalam program simulasi yang akan dibuat.
3. Membuat *one line* diagram interkoneksi Sumut-NAD pada software Edsa.
4. Penempatan DG, yaitu DG dipasang pada tegangan menengah 20 kV di GI.
5. Menentukan besarnya tingkat penetrasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PL = \frac{P_{DG}}{P_{BebanPuncak}} \cdot 100\% \quad (1)$$

dimana *PL* adalah tingkat penetrasi,

6. Simulasi aliran daya sistem tenaga listrik interkoneksi 150kV Sumut-NAD untuk mengetahui tegangan dan daya yang dibangkitkan oleh generator-generator pada beban puncak sistem tanpa DG.
7. Menghitung efisiensi pemakaian energi tanpa adanya DG.
8. Simulasi aliran daya sistem tenaga listrik interkoneksi 150kV Sumut-NAD untuk mengetahui tegangan, rugi-rugi pada jaringan dan daya yang dibangkitkan oleh generator-generator pada beban puncak sistem dengan DG.
9. Menghitung efisiensi pemakaian energi dengan adanya DG.
10. Menyusun hasil perhitungan penggunaan energi pada sistem interkoneksi 150 kV Sumut-NAD dengan DG dan tanpa DG, kemudian mengambil sebuah kesimpulan efisiensi penggunaan energi pada sistem tersebut.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Aliran Daya pada Keadaan sebelum Pemasangan DG**

Simulasi aliran daya pada keadaan normal pada sistem 150 kV NAD dilakukan dengan metode *Newton-Repson* dengan menggunakan data beban puncak pada tanggal 21 Nopember 2007 pukul 19.00 WIB. Simulasi aliran daya ini dilakukan untuk mengetahui besarnya daya dan tegangan pada setiap bus pada sistem 150 kV NAD dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel III  
Hasil Aliran Daya Tanpa DG

No	FEEDER	RUGI-RUGI DAYA (MW)
1	Bireun – Sigli	2,099
2	Idi – Lhokseumawe	5,927
3	Langsa – Idi	4,255
4	Langsa – Tualang Cut	0,023
5	Lhokseumawe – Bireun	2,425
6	P. Brandan – Langsa	11,44
7	Sigli – Banda Aceh	1,079

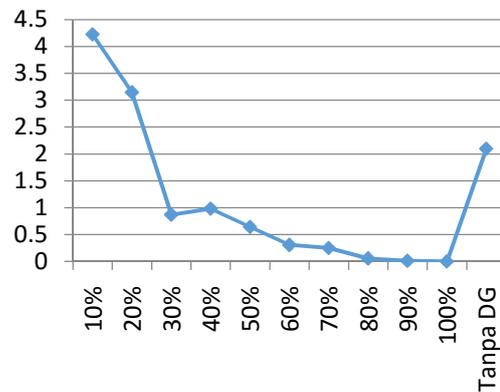
**B. Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang**

Rugi-rugi daya yang terjadi pada setiap penyulang sistem tenaga listrik interkoneksi 150 kV Sumut – NAD

sebelum dan setelah pemasangan DG untuk setiap penetrasi dapat di jelaskan sebagai berikut:

(a) Penyulang Bireun - Sigli

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Sigli-Bireun yang berjarak 99,2 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

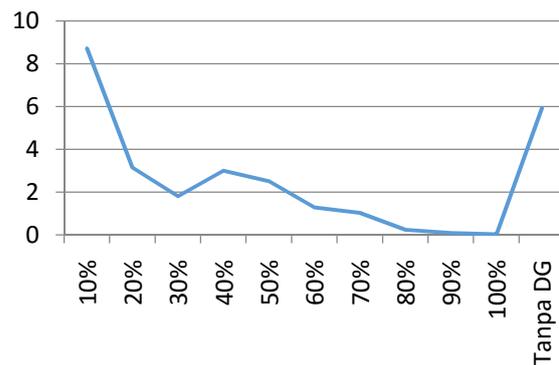


Gbr. 1 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Bireun-Sigli

Dari Gambar 1 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 30% sampai dengan 100%. Sedangkan pada penetrasi 10% dan 20% rugi-rugi semakin membesar dengan penambahan DG. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 30% sampai 100%.

(b) Penyulang Idi - Lhokseumawe

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Idi-Lhokseumawe yang berjarak 82,19 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



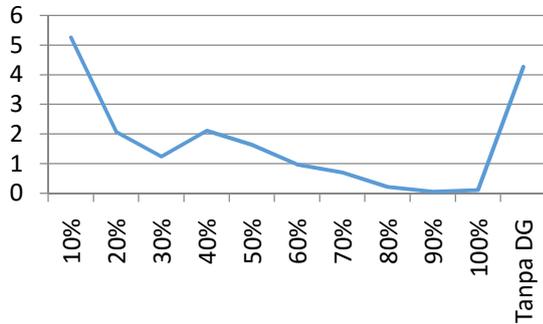
Gbr. 2 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Idi-Lhokseumawe

Dari Gambar 2 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 30% sampai dengan 100%. Sedangkan pada penetrasi 10% rugi-rugi semakin membesar dengan penambahan DG.

Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 20% sampai 100%.

(c) Penyulang Langsa-Idi

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Langsa- Idi yang berjarak 46,3 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

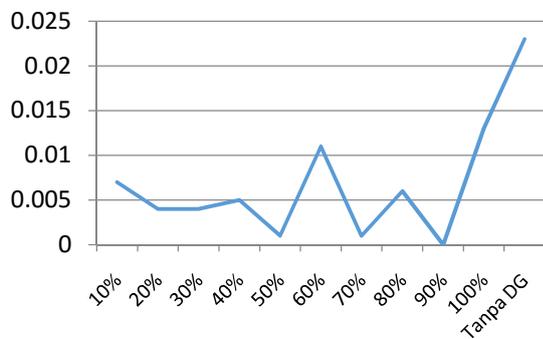


Gbr. 3 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Langsa-Idi

Dari Gambar 3 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 30% sampai dengan 100%. Sedangkan pada penetrasi 10% dan 20% rugi-rugi semakin membesar dengan penambahan DG. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 30% sampai 100%

(d) Penyulang Langsa-Tualang Cut

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Langsa-Tualang Cut yang berjarak 24,12 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

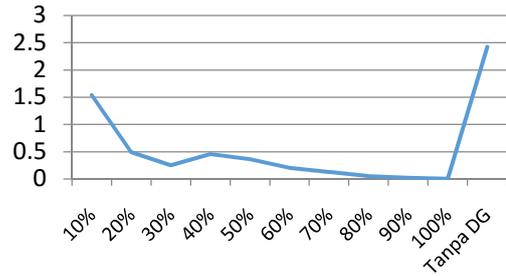


Gbr. 4 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Langsa-Tualang Cut

Dari Gambar 4 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 10% sampai dengan 100%. Sedangkan pada keadaan tanpa DG rugi-rugi semakin membesar. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 10% sampai 100%.

(e) Penyulang Lhokseumawe-Bireun

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Lhokseumawe-Bireun yang berjarak 61,3 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

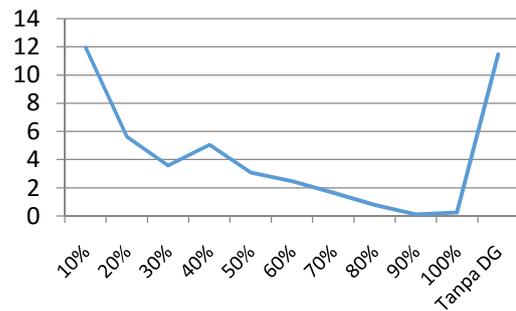


Gbr. 5 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Lhokseumawe-Bireun

Dari Gambar 5 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 10% sampai dengan 100%. Sedangkan pada keadaan tanpa DG rugi-rugi semakin membesar. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 10% sampai 100%.

(f) Penyulang P. Brandan-Langsa

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang P. Brandan-Langsa yang berjarak 78,27 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

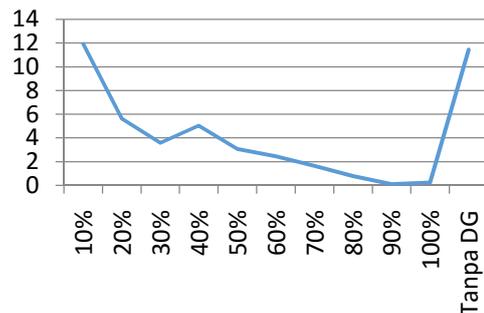


Gbr. 6 Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang P. Brandan-Langsa

Dari Gambar 6 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 20% sampai dengan 100%. Sedangkan pada penetrasi 10% rugi-rugi semakin membesar dengan penambahan DG. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 20% sampai 100%

(g) Penyulang Sigli-Banda Aceh

Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang Sigli-Banda Aceh yang berjarak 91,9 km sebelum dan setelah pemasangan DG seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

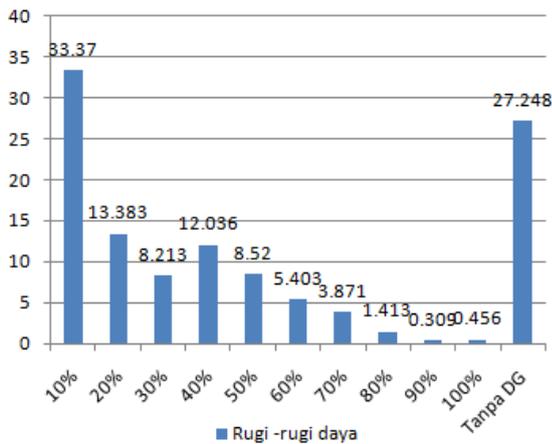


Gambar 7. Rugi-Rugi Daya (MW) Penyulang Sigli-Banda Aceh

Dari Gambar 7 terlihat bahwa rugi-rugi daya akan mengalami penurunan mulai penetrasi 20% sampai dengan 100%. Sedangkan pada penetrasi 10% rugi-rugi semakin membesar dengan penambahan DG. Sehingga dapat diambil sebuah kesimpulan bahwa efisiensi penyaluran energi baru optimal pada penetrasi 20% sampai 100%.

C. Efisiensi Sistem Interkoneksi 150 kV NAD-Sumut

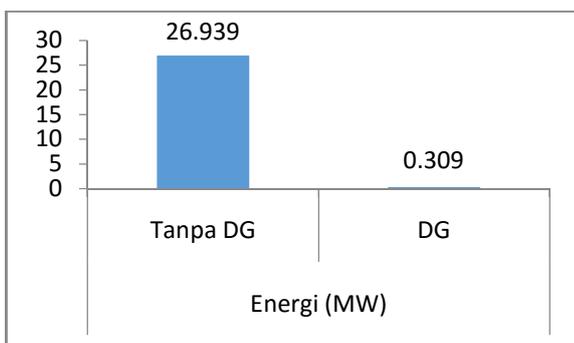
Dari hasil simulasi yang dilakukan didapatkan tingkat efisiensi pada sistem tenaga listrik interkoneksi 150 kV NAD-Sumut untuk setiap penetrasi energi total yang terbuang seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gbr 8. Rugi-Rugi Daya (MW) Interkoneksi 150 kV NAD-Sumut

Dari Gambar 8 terlihat bahwa energi yang paling besar terbuang pada saat penetrasi 10% yaitu sebesar 33,37 MW. Ini menunjukkan bahwa penambahan DG belum tentu mendapatkan energi yang efisien dibandingkan dengan tanpa menggunakan DG, yang mana besar energi yang terbuang adalah 27,248 MW.

Namun demikian penambahan DG memberikan sebuah pengaruh yang besar terhadap system tenaga listrik interkoneksi 150 kV NAD-Sumut khususnya untuk tingkat penetrasi antara 20% sampai dengan 100%. Efisiensi energi yang paling optimal terjadi pada penetrasi 90% dengan tingkat energi yang terbuang sebesar 0,309 MW. Ini menunjukkan bahwa adanya minimalisasi dari pada energi yang terbuang, yaitu sebesar 26,939 MW. Secara grafik dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 9.



Gbr. 9 Rugi-Rugi Daya (MW) interkoneksi 150 kV NAD-Sumut

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian penggunaan DG pada sistem tenaga listrik interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam-Sumut dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Penambahan DG pada sistem interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam-Sumut tidak selamanya akan memberi pengaruh yang baik, yaitu mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan. Karena pada penetrasi 10% dari beban pikul setiap GI terjadi kenaikan total rugi-rugi daya pada jaringan, yaitu dari 27,248 MW menjadi 33,37 MW. Ini menunjukkan bahwa ada kenaikan rugi-rugi daya sebesar 6,122 MW.
2. Penambahan DG pada system interkoneksi 150 kV NAD-Sumut didapatkan pengaruh yang baik yaitu mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan. Ini terjadi pada penetrasi diatas 20 % sampai dengan 100%. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi efisiensi pemakaian energi pada sistem interkoneksi 150 kV Nanggroe Aceh Darussalam – Sumut.
3. Efisiensi tertinggi terjadi pada penetrasi 90% yang menghasilkan rugi-rugi daya sebesar 0,309 MW, yang sebelum adanya DG rugi-rugi daya sebesar 27,248 MW. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan rugi-rugi daya sebesar 26,939 MW.
4. Efisiensi terendah terjadi pada penetrasi 20% yang menghasilkan rugi-rugi daya sebesar 13,383 MW, yang sebelum adanya DG rugi-rugi daya sebesar 27,248 MW. Ini menunjukkan bahwa telah terjadi pengurangan rugi-rugi daya sebesar 13,865 MW

REFERENSI

- [1] Anonim, 2000, **White Paper on Distributed Generation**. 2000, National Rural Electric Cooperative Association.
- [2] Barker and R. W. de Mello, 2000, **Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 – Radial Distribution Systems**, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Seattle, Washington.
- [3] Mithulanathan dkk., 2004, **Distributed Generator Placement in Power Distribution System Using Genetic Alogaritm to Reduce Losses**, Thammasat Int. J. Sc. Tech Vol. 9, No. 3.
- [4] Mendez dkk., **Impact of Distributed Generation on Distribution Losses**, Spain.
- [5] Sloopweg dan Kling, 2002, **Impacts of Distributed Generation on power Sistem Transient Stability**, IEEE.