

# ANALISIS KETIDAK SEIMBANGAN ALIRAN BEBAN PADA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DENGAN METODE INJEKSI ARUS

Maimun<sup>1</sup>, Radhiah<sup>2</sup>, Zulfikar<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

[maimun.s210@gmail.com](mailto:maimun.s210@gmail.com)

**Abstrak**— Analisis aliran daya pada sistem distribusi tegangan menengah sudah banyak dilakukan dengan beberapa metode salah satunya adalah metode injeksi arus (*current injection method*). Metode tersebut merupakan metode baru hasil pengembangan dari metode Newton-Raphson. Metode injeksi arus memiliki struktur matriks Jacobian yang di-update pada setiap iterasi sehingga lebih cepat dalam melakukan analisa aliran daya. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode injeksi arus dengan melakukan analisis ketidak seimbangan aliran beban (*unbalanced load flow analysis*) dengan metode injeksi arus (*current injection*) pada sistem distribusi 20 kV dengan tujuan untuk menghitung atau mengetahui besarnya susut atau jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi-rugi daya (*losses*), persentase ketidak seimbangan aliran beban antar fasa yang timbul pada sistem distribusi 20 kV dalam kondisi ketidak seimbangan aliran beban, serta persentase pembebanan transformator. Studi kasus dilakukan pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Darussalam (Kota Lhokseumawe) Gardu Hubung Lancang Garam, PLN area Lhokseumawe. Studi aliran daya atau simulasi dilakukan dengan kondisi tidak seimbang aliran beban dilakukan dengan bantuan program software ETAP. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada jaringan listrik tersebut, maka didapatkan bahwa rugi-rugi daya aktif total ( $\Delta P_T$ ) yang timbul pada jaringan listrik penyulang Darussalam saat beban puncak sebesar 249,124 W untuk daya aktif ( $\Delta P$ ) dan 132,212 Var untuk daya reaktif ( $\Delta Q$ ). *Drop* tegangan atau jatuh tegangan dalam persen terbesar juga terjadi pada penghantar 2 yaitu 0,0154% untuk fasa A, 0,0153% untuk fasa B dan 0,0160% untuk fasa C. Hal ini disebabkan penghantar 2 terhubung dengan bus 3 yang merupakan bus utama yang terhubung dengan seluruh beban. Jadi rugi-rugi daya ( $\Delta P$ ) dan drop tegangan ( $\Delta V$ ) yang timbul pada jaringan listrik penyulang Darussalam masih kecil, sehingga efisiensi jaringan listrik tersebut masih cukup baik.

**Kata kunci**— Sistem Distribusi, *unbalance load flow analysis*, metode injeksi arus, penyulang, *losses*, *voltage drop*

## I. PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik untuk mendapatkan hasil yang optimal dipengaruhi oleh berbagai aspek yang luas, salah satunya yang sangat penting adalah aspek pembiaayaan (ekonomi) karena untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi pelanggan (masyarakat) yang kontinyu dengan sedikit pemadaman (minim gangguan) memerlukan biaya yang tidak sedikit.

Permintaan energi listrik yang semakin meningkat terutama untuk industri dengan teknologi yang modern, maka diperlukan pengembangan sistem penyediaan energi listrik, terutama karena tuntutan untuk mendapatkan energi yang berkualitas, dengan tanpa mengurangi kapasitas. Mengingat terbatasnya energi listrik, kebutuhan konsumen terutama kuantitas dapat terpenuhi dengan melaksanakan usaha penghematan energi. Langkah nyata yang ditempuh adalah dengan perencanaan operasi sistem tenaga listrik agar energi semaksimal mungkin sampai ke konsumen, hal ini dapat ditempuh dengan penggunaan daya seoptimal mungkin. Sistem suplai listrik selalu menggunakan sistem tiga fasa. Rancangan jaringan dibuat sedemikian rupa sehingga sistem tenaga listrik dapat beroperasi normal mendekati kerja tiga fasa jaringan dipastikan sama besar masing-masing fasa .

Penambahan beban sewaktu-waktu harus ditanggapi oleh pihak penyedia daya dalam hal ini PT. PLN. Penambahan beban tersebut menyebabkan besarnya beban pada masing-masing fasa tidak sama. Variasi daya aktif dan daya reaktif yang diambil oleh sebuah beban dengan berbagai tingkat tegangan sangat mempengaruhi tingkat aliran daya dan kestabilan. Daya aktif dan daya reaktif yang dikonsumsi oleh sebuah beban tiga fasa seimbang untuk hubungan Y maupun

hubungan  $\Delta$  sangat tergantung pada komposisi hubungan beban yang dihubungkan terhadap sistem suplai itu sendiri.

Penelitian mengenai aliran daya atau studi aliran daya (*load flow study*) pada sistem tenaga listrik tiga fasa telah dilakukan sebelumnya dengan berbagai metode. Studi aliran daya yang dilaksanakan bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya, tegangan, rugi-rugi daya dan drop tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi tersebut sangat diperlukan guna untuk mengevaluasi dan menganalisis unjuk kerja sistem tenaga listrik baik kondisi pembangkit, jaringan maupun beban.

Teng dan Chang [5] melakukan penelitian aliran daya untuk jaringan distribusi sistem radial untuk kondisi tak seimbang dengan menerapkan suatu algoritma pengembangan metode Newton-Raphson, proses penyelesaiannya menggunakan komponen fasa dengan menerapkan metode injeksi arus untuk sistem distribusi radial yang tidak seimbang. IBG Manuaba dan Kadek Amerta Yasa [6] telah melakukan penelitian aliran daya dengan menggunakan dua metode yaitu: metode Newton-Raphson dan metode arus injeksi (*current injection*) pada jaringan distribusi radial. Hasil kedua simulasi dibandingkan ternyata hasil simulasi dengan metode arus injeksi lebih akurat, iterasi cepat dan lebih cepat konvergen. Maimun dkk [7] telah melakukan penelitian analisis *unbalanced load flow* pada jaringan listrik PLTMh dengan metode arus injeksi. Studi aliran daya kondisi tak seimbang fasa digunakan untuk mengetahui karakteristik, berupa aliran daya, arus, tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya dan *drop* tegangan sistem perfasa. Hasil simulasi dapat diketahui bahwa rugi-rugi daya ( $\Delta P$ ) dan drop tegangan ( $\Delta V$ ) yang timbul pada jaringan listrik PLTMh masih kecil, sehingga efisiensi jaringan listrik tersebut masih cukup baik.

Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan kelanjutan penelitian sebelumnya, dimana penelitian sebelum dengan metode yang sama dilakukan pada sitem distribusi tegangan rendah (pada jaringan listrik PLTMh), sedangkan objek penelitian yang akan dilakukan adalah pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV. Lokasi penelitian adalah pada Gardu Hubung (GH) Lancang Garam, penyulang Darussalam (Kota Lhokseumawe). Untuk menghindari kerumitan dikarenakan banyaknya persamaan yang harus diselesaikan maka dalam malakukan penelitian ini digunakan program komputer (*software*) *Electrical Transient Analysis programs (ETAP)* sebagai alat bantu.

**II. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitiann ini bertujuan untuk menghitung atau mengetahui besarnya susut atau jatuh tegangan (*voltage drop*), rugi-rugi daya (*losses*), persentase ketidak seimbangan aliran beban antar fasa yang timbul pada sistem distribusi 20 kV penyulang Darussalam Gardu Hubung (GH) Lancang Garam dalam kondisi ketidak seimbangan aliran beban, serta persentase pembebanan transformator dengan cara melakukan simulasi aliran daya dalam kondisi ketidak seimbangan beban (*unbalanced load flow analysis*) dengan bantuan *softwire ETAP*. Adapun langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini dapat dibuat dalam bentuk diagram alir seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

**A. Metode Pengolahan Data**

Metoda pengolahan data adalah dengan melakukan komputasi dengan *software* ETAP. Komputasi dilakukan pada objek penelitian pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV. Adapun prosedur pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Membuat konfigurasi jaringan yang akan diteliti.
2. Memasukkan nilai parameter jaringan pada saluran antar bus.
3. Memasukkan nilai tegangan pada setiap bus.
4. Memasukkan kapasitas daya pada Gardu Hubung (GH) Lancang Garam.
5. Memasukkan data-data transformator
6. Memasukkan data-data beban.
7. Proses simulasi aliran daya dengan *software* ETAP
8. Menentukan tegangan, *drop* tegangan, aliran daya aktif dan reaktif, *losses* dan arus pada tiap *bus*.

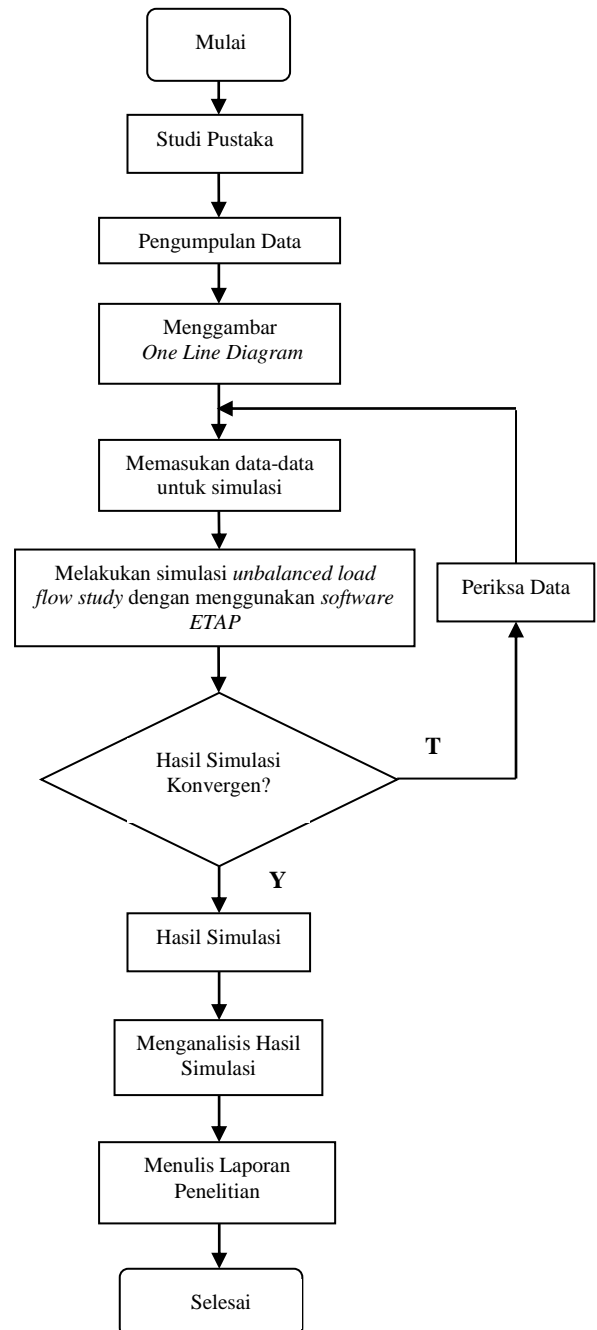
**B. Alat dan Bahan Penelitian**

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan pendukung antara lain: Laptop dengan spesifikasi *Processor Intel Core i3*, HDD 320 Gb, RAM 2Gb. Sistem operasi windows 7. *Software* ETAP versi 7.0

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa pengambilan data sistem distribusi tegangan menengah 20 kV pada Gardu Hubung (GH) Lancang Garam, penyulang

Darussalam (Kota Lhokseumawe), data-data tersebut antara lain:

- a. Nilai tegangan pada masing-masing bus.
- b. Kapasitas Daya Pada GH Lancang Garam
- c. Kapasitas transformator.
- d. Kapasitas beban.
- e. Parameter jaringan pada saluran antar bus yaitu nilai resistansi dan induktasi saluran (*impedansi jaringan*).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah:

1. Data Daya Pada GH Lancang Garam, Penyulang Darussalam.

Tabel 1.  
Data-Data Pada Gh Lancang Garam

No	Uraian	Data	Satuan	Keterangan
1.	Daya Maksimum	10	MVA	
2.	Tegangan	20	kV	
3.	Frekuensi	50	Hertz	
4.	Faktor Daya	80	Persen	

2. Data-data transformator

Data 12 buah transformator seperti tercantum dalam Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2.  
Data-Data Transformator 3 Fasa

No	No. Gardu	Daya (kVA)	Arus (A)		Tegangan (kV)		Daya (P) Beban (kW)		
			HV	LV	HV	LV	R	S	T
1	T1 (BS 146)	160	4,6	231	20	0,4	22,38	21,20	18,45
2	T2 (BS 154)	100	2,9	144	20	0,4	15,90	14,53	15,51
3	T3 (BS 071)	200	5,8	289	20	0,4	34,16	32,20	37,30
4	T4 (BS 103)	200	5,8	289	20	0,4	21,00	2,56	16,10
5	T5 (BS 003)	250	7,2	361	20	0,4	49,87	55,17	54,19
6	T6 (BS 112)	100	2,9	144	20	0,4	11,19	9,42	13,15
7	T7 (BS 145)	50	1,4	72	20	0,4	7,85	10,21	11,19
8	T8 (BS 053)	160	4,6	231	20	0,4	27,09	21,00	27,68
9	T9 (BS 092)	100	2,9	144	20	0,4	21,20	16,49	18,45
10	T10 (BS 147)	50	1,4	72	20	0,4	10,21	10,01	8,443
11	T11 (BS 016)	200	5,8	289	20	0,4	28,47	21,79	16,69
12	T12 (BS 168)	100	2,9	144	20	0,4	6,48	5,301	11,388

3. Data-data saluran (line) atau penghantar

Data saluran (line) atau penghantar seperti tercantum dalam Tabel 3 berikut ini:

TABEL 3.  
DATA-DATA PENGHANTAR

No	Dari Bus	Ke Bus	Panjang (m)	Jenis Penghantar dan luas penampangnya	Sirkuit
1.	GH (Bus 1)	2	46	XLPE 3 x 240 mm <sup>2</sup>	1
2.	2	3	260	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
3.	3	BS-146	100	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
4.	BS-146	BS-154	300	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1

5.	3	BS-071	60	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
6.	BS-071	BS-103	170	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
7.	BS-103	BS-003	120	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
8.	BS-003	BS-112	200	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
9.	BS-112	BS-145	100	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
10.	BS-145	BS-053	50	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
11.	BS-053	BS-092	220	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
12.	BS-092	BS-147	130	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
14.	BS-147	BS-016	1000	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1
15.	BS-016	BS-168	50	AAAC 3 x 150 mm <sup>2</sup>	1

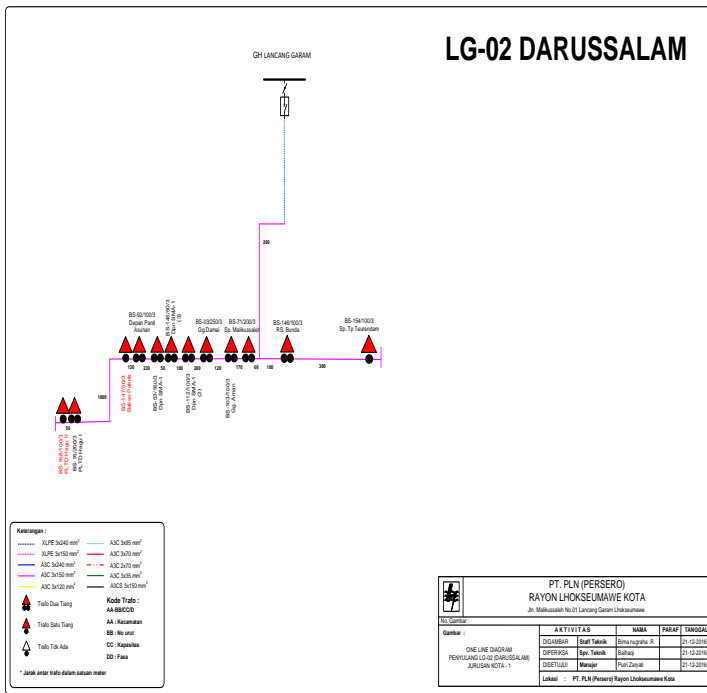
Nilai impedansi (Z) untuk masing-masing jenis penghantar yang digunakan seperti terlihat di Tabel 4 berikut ini:

Tabel 4.  
Nilai Impedansi Penghantar

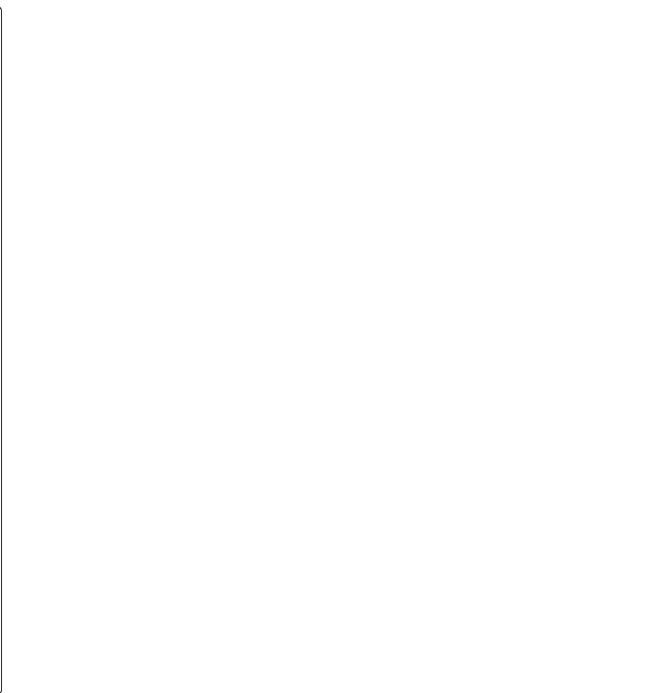
No	Nama	Impedansi (Ohm/km) Urutan Positif	Impedansi (Ohm/km) Urutan Negatif	Impedansi (Ohm/km) Urutan Nol
1	AAAC/ 70 mm <sup>2</sup>	0,4608+j0,3572	0,4608+j0,3572	0,6088+j1,6447
2	AAAC/120 mm <sup>2</sup>	0,2688+j0,3376	0,2688+j0,3376	0,4168+j1,6251
3	AAAC/150 mm <sup>2</sup>	0,2651+j0,3204	0,2651+j0,3204	0,4101+j1,6180
4	XLPE/ 240 mm <sup>2</sup>	0,0987+j0,0948	0,1744+j0,3239	0,15693+j0,24079

4. Gambar one line diagram sistem distribusi tegangan menengah 20 kV

Gambar jaringan tegangan menengah 20 kV pada gardu hubung Lancang Garam (LG) penyulang Darussalam kota seperti diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. One line diagram sistem distribusi tegangan menengah



Gambar 4 Diagram segaris Jaringan Distribusi 20 kV pada ETAP

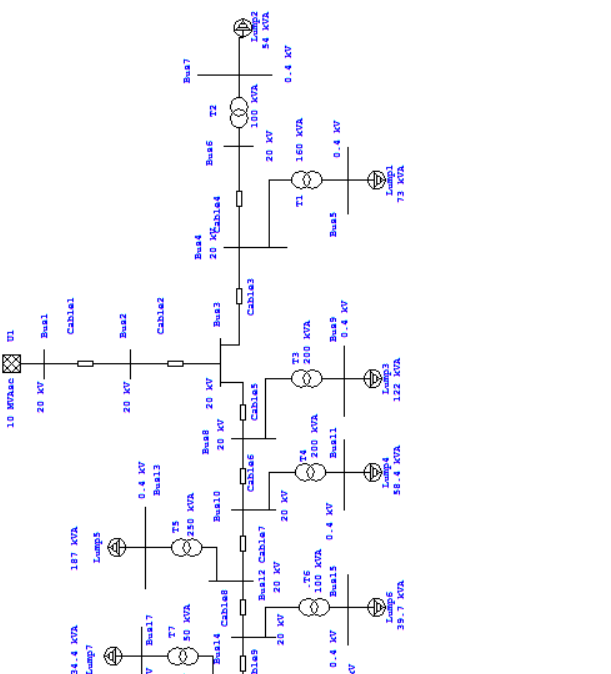
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Studi Aliran Daya (Load Flow Studi) pada Jaringan Distribusi 20 kV

Untuk mengetahui karakteristik, khususnya rugi-rugi daya (*losses*), drop tegangan (*voltage drop*) dan arus pada masing-masing fasa yang timbul pada jaringan distribusi 20 kV penyulang LG-2 Darussalam (Kota Lhokseumawe) maka dilakukan studi aliran daya (simulasi) pada jaringan listrik tersebut dalam kondisi tak seimbang aliran beban pada saat beban puncak dengan bantuan program ETAP (*Electrical Transient Analysis Programs*). Sebelum studi aliran daya/simulasi dilakukan terlebih dahulu membuat diagram segaris jaringan distribusi 20 kV penyulang Darussalam Kota Lhokseumawe pada halaman editor ETAP seperti diperlihatkan pada Gambar 4 berikut ini:

#### B. Hasil Studi Aliran daya atau Simulasi

Setelah menggambarkan jaringan distribusi 20 kV pada halaman ETAP selanjutnya dilakukan simulasi deterlebih dahulu mengklik tombol “*unbalanced load flow analysis*” selanjutnya mengklik tombol “*run*” dan tampilan pada halaman ETAP seperti diperlihatkan pada Gambar 5 .



Nama Penghantar	Dari Bus	Ke Bus	Vn (kV)	Fasa	$\Delta P$ (W)	$\Delta Q$ (VAR)	$(\Delta V)$ (%)
Penghantar 1	Bus 1	Bus 2	20	A	2.6	2.6	0.0013
				B	2.5	2.5	0.0012
				C	2.7	2.8	0.0013
Penghantar 2	Bus 2	Bus 3	20	A	38.9	20.0	0.0154
				B	37.7	19.4	0.0153
				C	41.5	21.4	0.0160
Penghantar 3	Bus 3	Bus 4	20	A	0.4	0.2	0.0009
				B	0.3	0.2	0.0009
				C	0.3	0.2	0.0009
Penghantar 4	Bus 4	Bus 6	20	A	0.2	0.1	0.0011
				B	0.2	0.1	0.0011
				C	0.2	0.1	0.0012
Penghantar 5	Bus 3	Bus 8	20	A	6.5	3.3	0.0030
				B	6.3	3.3	0.0030
				C	7.0	3.6	0.0032
Penghantar 6	Bus 8	Bus 10	20	A	12.9	6.6	0.0072
				B	12.4	6.4	0.0071
				C	13.9	7.2	0.0075
Penghantar 7	Bus 10	Bus 12	20	A	7.4	3.8	0.0046
				B	7.3	3.8	0.0046
				C	7.9	4.1	0.0047
Penghantar 8	Bus 12	Bus 14	20	A	5.4	2.8	0.0051
				B	5.1	2.6	0.0050
				C	6.1	3.1	0.0054
Penghantar 9	Bus 14	Bus 16	20	A	2.2	1.1	0.0023
				B	2.0	1.0	0.0022
				C	2.4	1.2	0.0024
Penghantar 10	Bus 16	Bus 18	20	A	0.9	0.5	0.0010
				B	0.8	0.4	0.0010
				C	1.0	0.5	0.0011
Penghantar 11	Bus 18	Bus 20	20	A	2.0	1.0	0.0032
				B	1.6	0.8	0.0029
				C	2.0	1.1	0.0033
Penghantar 12	Bus 20	Bus 22	20	A	0.6	0.3	0.0013
				B	0.4	0.2	0.0012
				C	0.6	0.3	0.0013
Penghantar 13	Bus 22	Bus 24	20	A	2.5	1.3	0.0076
				B	1.9	1.0	0.0068
				C	2.5	1.3	0.0078
Penghantar 14	Bus 24	Bus 26	20	A	0.004	0.002	0.0001
				B	0.009	0.005	0.0001
				C	0.011	0.005	0.0001
<b>Total Rugi-Rugi Daya</b>					<b>249.12</b>	<b>132.21</b>	

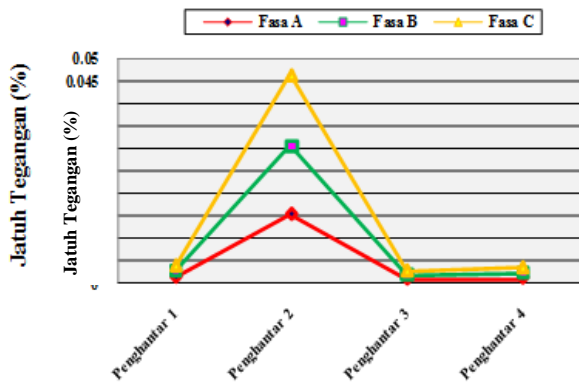
Gambar 5. Diagram Segaris Jaringan Distribusi 20 Kv Pada Halaman ETAP Setelah Proses Simulasi (Run)

Studi aliran daya atau simulasi dilakukan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi daya aktif ( $\Delta P$ ), drop tegangan ( $\Delta V$ ), persentase ketidak seimbangan beban setiap fasa yang timbul pada setiap penghantar jaringan distribusi 20 kV penyulang Darussalam (Kota Lhokseumawe) Gardu Hubung (GH) Lancang Garam, serta persentase pembebanan setiap tranformator yang ada pada penyulang tersebut. Data-data hasil dari simulasi seperti tercantum dalam tabel-tabel berikut.

Tabel 5. Rugi-Rugi Daya Dan Jatuh Tegangan Pada Setiap Penghantar

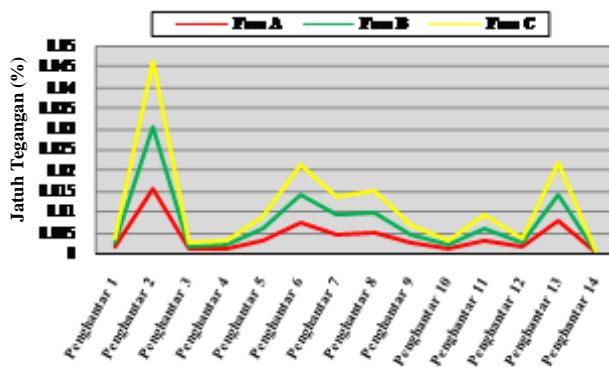
Pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa rugi-rugi daya terbesar terdapat pada penghantar 2 yang menghubungkan bus 2 dengan bus 3 sejauh 260 meter dengan rugi-rugi daya aktif ( $\Delta P$ ) masing-masing fasanya adalah sebesar 38,9 W untuk fasa A, 37,7 W untuk fasa B dan 41,5 W untuk fasa C. Rugi-rugi daya reaktif ( $\Delta Q$ ) sebesar 20 Var untuk fasa A, 19,4 Var untuk fasa B dan 21,4 Var untuk fasa C, sedangkan jatuh tegangan dalam persen terbesar juga terjadi pada penghantar 2 yaitu 0,0154% untuk fasa A, 0,0153% untuk fasa B dan 0,0160% untuk fasa C. Hal ini disebabkan penghantar 2 terhubung dengan bus 3 yang merupakan bus utama yang terhubung dengan seluruh beban. Rugi-rugi daya total sebesar 249,124 Watt untuk daya aktif ( $\Delta P$ ) dan 132,212 Var untuk daya reaktif ( $\Delta Q$ ). Rugi-rugi daya yang timbul pada jaringan distribusi 20 kV penyulang Darussalam kecil hal ini disebabkan beban yang dilayani masih rendah dan jarak sirkit jaringan tidak jauh.

Berdasarkan data-data dari Tabel 5 juga dapat dibuat grafik jatuh tegangan dalam persen pada setiap penghantar seperti diperlihatkan pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6 Grafik jatuh tegangan pada setiap penghantar dalam persen

Gambar 6 memperlihatkan jatuh tegangan pada tiap penghantar dari penghantar 1 menuju ke penghantar 4 setelah penghantar 4 tidak ada lagi jaringan yang terhubung dengan beban berdasarkan gambar *one line diagram* seperti diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Dari grafik Gambar 6 jelas terlihat bahwa jatuh tegangan ( $\Delta V$ ) terbesar dalam persen terjadi pada penghantar 2 disebabkan penghantar 2 terhubung dengan bus 3 yang merupakan bus utama, dimana bus tersebut terhubung dengan semua beban.



Gambar 7. Grafik jatuh tegangan pada setiap penghantar dalam persen

Gambar 7 memperlihatkan jatuh tegangan pada tiap penghantar untuk keseluruhan jaringan distribusi 20 kV penyulang Darussalam mulai dari penghantar 1 sampai ke penghantar 14 setelah penghantar 14 tidak ada lagi jaringan yang terhubung dengan beban (sistem distribusi radial) berdasarkan gambar *one line diagram* seperti diperlihatkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Dari grafik Gambar 7 juga terlihat bahwa jatuh tegangan ( $\Delta V$ ) dalam persen terbesar terjadi pada penghantar 2 dan jatuh tegangan ( $\Delta V$ ) dalam persen terkecil terjadi pada penghantar 4.

Jadi jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Darussalam sangat kecil masih jauh dari standar PLN (10% untuk jaringan tegangan menengah) sehingga efisiensi jaringan cukup baik walaupun terjadi ketidak seimbangan beban pada setiap fasanya.

Tabel 6  
Data-Data Pembebanan Transformator Dalam Kondisi Tidak Seimbang Aliran Beban (Arus)

No. Gardu	Daya (kVA)	Arus Beban (A)				Unbalanced Load %	Daya Terpakai	
		R	S	T	N		kVA	%
T1 (BS 146)	160	112.2	106.7	92.6	10,2	15.44	70.93	44.3
T2 (BS 154)	100	79.5	72.9	77.5	41,9	6.54	52.15	52.2
T3 (BS 071)	200	170.6	161.5	185.8	68,6	11.68	117.38	58.7
T4 (BS 103)	200	105.7	63.7	81.1	45,2	38.15	57.28	28.6
T5 (BS 003)	250	248.3	274.9	269.0	90,9	7.51	178.79	71.5
T6 (BS 112)	100	56.2	47.6	65.9	24,2	26.37	38.65	38.6
T7 (BS 145)	50	39.2	50.9	55.4	18,7	27.62	32.86	65.7
T8 (BS 053)	160	135.3	105.7	138.1	55,7	22.11	86.01	53.76
T9 (BS 092)	100	105.3	82.6	91.8	41,3	20.22	63.19	63.2
T10 (BS 147)	50	50.7	49.9	42.1	20,2	14.31	32.25	64.5
T11 (BS 016)	200	142.6	109.9	84.0	69,8	38.38	76.71	38.4
T12 (BS 168)	100	32.7	26.9	57.1	44,6	51.55	26.66	26.7

Pada Tabel 6 memperlihatkan bahwa akibat aliran beban yang tidak seimbang maka pada netral timbul arus yang bias berbahaya dan dapat merusak peralatan seperti transformator cepat panas bila mengalir arus pada netralnya. Persentase ketidak seimbangan aliran beban antar fasa terbesar terjadi pada transformator T12 (BS 168) sebesar 51,55% dan nilai tersebut sudah melebihi batas normal yaitu sebesar 25% (ketentuan dari SPLN). Hal ini harus mendapatkan perhatian dari petugas PLN untuk menyeimbangkannya. Nilai ketidak seimbangan aliran beban antar fasa yang terkecil atau bagus terdapat pada transformator T2 (BS 154) sebesar 6,54%.

Tabel 6 juga memperlihatkan bahwa daya yang terpakai oleh beban tidak semuanya. Persentase pembebanan terbesar terjadi pada transformator T5 (BS 003) yaitu 71,5% atau sebesar 178.79 kVA dari kapasitas transformator terpasang sebesar 250 kVA sedangkan persentase pembebanan terkecil terjadi pada transformator T12 (BS 168) yaitu 26,7% atau sebesar 26.66 kVA dari kapasitas transformator terpasang sebesar 100 kVA. Jadi daya yang terpakai oleh beban atau pembebanan transformator belum mencapai batas normal yaitu 80% (agar umur ekonomis transformator lama maka transformator tidak boleh dibebani 100%).

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

*Losses* atau rugi-rugi daya yang timbul pada jaringan penyulang Darussalam Gardu Hubung (GH) Lancang Garam pada saat beban puncak sebesar 249,124 Watt untuk daya aktif ( $\Delta P$ ) dan 132,212 Var untuk daya reaktif ( $\Delta Q$ ). Jadi rugi-rugi daya yang timbul pada jaringan distribusi 20 kV penyulang

Darussalam tersebut masih kecil hal ini disebabkan beban yang dilayani masih rendah dan jarak sirkit jaringan tidak jauh.

*Drop* tegangan atau jatuh tegangan dalam persen terbesar juga terjadi pada penghantar 2 yaitu 0,0154% untuk fasa A, 0,0153% untuk fasa B dan 0,0160% untuk fasa C. Hal ini disebabkan penghantar 2 terhubung dengan bus 3 yang merupakan bus utama yang terhubung dengan seluruh beban. Jadi jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Darussalam sangat kecil masih jauh dari standar PLN (10% untuk jaringan tegangan menengah) sehingga efisiensi jaringan cukup baik walaupun terjadi ketidak seimbangan beban pada setiap fasanya.

Persentase ketidak seimbangan aliran beban antar fasa terbesar terjadi pada transformator T12 (BS 168) sebesar 51,55% dan nilai tersebut sudah melebihi batas normal yaitu sebesar 25% (ketentuan dari SPLN). Hal ini harus mendapatkan perhatian dari petugas PLN untuk menyeimbangkannya.

Persentase pembebanan terbesar terjadi pada transformator T5 (BS 003) yaitu 71,5% atau sebesar 178.79 kVA dari kapasitas transformator terpasang sebesar 250 kVA sedangkan persentase pembebanan terkecil terjadi pada transformator T12 (BS 168) yaitu 26.7% atau sebesar 26.66 kVA dari kapasitas transformator terpasang sebesar 100 kVA. Jadi daya yang terpakai oleh beban atau pembebanan transformator belum mencapai batas normal yaitu 80% (agar umur ekonomis transformator lama maka transformator tidak boleh dibebani 100%)

## REFERENSI

- [1] Nazaruddin, "Analisis Aliran Daya Tak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik Berdasarkan Komponen Simetris", Tesis S2 Teknik Elektro, UGM, Yogyakarta. Jan 2006.
- [2] Zhong, S. dan Abur, "Effects of Nontransposed Lines and Unbalanced Loads on State Estimation" *IEEE, 0-7803-7322-7/02*, 975-979, Nov 2002.
- [3] Pulungan, A.B., "Analisis Aliran Daya Terhadap Daya Tak Seimbang", *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Vol. 1 No. 1, pp 36-40. Padang, 2012.
- [4] Weking, A.I., "Pengembangan Analisis Aliran Daya dengan Memperhitungkan Kualitas Energi Listrik", *Jurnal Teknik Elektro, UDAYANA*, Vol. 8 No. 1, pp 97-105, Bali, 2008
- [5] Teng, J.H. and Chang, "A Novel and Fast Three Phase Load Flow for Unbalanced Radial Distribution System", *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol. 17, No. 4, pp. 1238-1244. 2002
- [6] Manuaba IBG dan Amerta Yasa Kadek, "Analisa Aliran Daya Dengan Metode Injeksi Arus Pada Sistem Distribusi 20 kV" *Jurnal Teknologi Elektro*, Vol. 8, No. 1, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali, 80361, Januari-Juli 2009
- [7] Maimun, Fauzan dan Radhiah, "Analisis Unbalanced Load Flow Pada Jaringan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) Dengan Metode Injeksi Arus (Current Injection)" *Jurnal Teknologi*, Vol.16, No.1,2016, ISSN 1412 – 1476, Unit Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Politeknik Negeri Lhokseumawe. April 2016.
- [8] Garcia, P.A.N, Pereira, J.L.R, Caneiro, S.Jr, da Costa, V.M, Martins, N, "Three-Phase Power Flow Calculations Using The Current Injection Method", *IEEE Transactions On Power System*, Vol. 15, No. 2, 2002
- [9] Da Costa, V.M, Martins, N, Pereira, J.L.R, "Developments in the Newton-Raphson Power Flow Formulation Based on Current Injections", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 14, No. 4. Nov 1999.