

STUDI SISTEM INTERKONEKSI PLTMG ARUN DENGAN SISTEM KELISTRIKAN LHOEKSEUMAWE

Safrizal¹, Nazaruddin², Yassir³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email : safrizalagus@gmail.com

Abstrak-Penelitian ini bertujuan melakukan simulasi aliran daya pada sistem interkoneksi PLTMG Arun dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe untuk menentukan besarnya tegangan, daya aktif, daya reaktif, *losses* dan drop tegangan pada sistem kelistrikan Lhokseumawe. Pada tulisan ini membahas mengenai analisis aliran daya dengan mensimulasikan pada software ETAP 12.6 dengan menggunakan metode Adaptive Newton-Raphson Method. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTMG Arun menyuplai daya sebesar 12,116 MW, 9,087 MVAR dan 15,144 MVA untuk memenuhi kebutuhan daya ke sistem kelistrikan Lhokseumawe yaitu dengan menghidupkan dua *engine*. Besarnya drop tegangan dan susut energi (*losses*) terbesar yaitu masing-masing 2,60% dan 154,0 kW untuk daya aktif dan 98,1 kVAR untuk daya reaktif (Q). Hasil yang didapat dari hasil keseluruhan bahwa nilai drop tegangan maupun *losses* daya masih dalam keadaan toleransi.

Kata Kunci : Aliran Daya, *Losses*, Drop Tegangan, Adaptive Newton-Raphson Method

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik pada era milenial akan terus meningkat seiring dengan membaiknya kondisi perekonomian, penambahan jumlah penduduk, peningkatan pembangunan dan kemajuan suatu teknologi dengan berkembangnya wilayah. Pusat listrik yang besar, di atas 100 MW umumnya beroperasi dalam sistem interkoneksi. Pada sistem interkoneksi terdapat banyak pusat listrik dan banyak pusat beban (yang disebut Gardu Induk) yang dihubungkan satu sama lain oleh saluran transmisi. Di setiap GI terdapat beban berupa jaringan distribusi yang melayani para konsumen tenaga listrik. Jaringan distribusi beserta konsumen ini merupakan suatu sub sistem distribusi[1].

Sistem interkoneksi adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan Gardu Induk (GI) yang dihubungkan satu sama lain melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh Gardu Induk[6][10].

Pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Arun 184 MW, dalam menjalankan tugasnya untuk penyediaan listrik ke sistem Lhokseumawe dilakukan swcara interkoneksi yang terhubung ke GI Lhokseumawe. Jika terjadi peningkatan kebutuhan listrik, maka pihak penyedia daya (PLN) melalui divisi Pusat Pengaturan dan Pengendalian Beban (P3B) meminta penambahan daya kepada pembangkit PLTMG untuk mengoperasikan unit pembangkit.

PLTMG Arun mempunyai 19 unit generator yang diparalelkan, yang mampu menyediakan energi sebesar 184 MW, permintaan daya konsumen yang selalu naik turun membuat P3B menyesuaikannya, P3B meminta untuk menaikkan daya pada pembangkit yang sudah on line saat ini masih dilakukan dengan cara manual.

Penelitian ini akan melakukan pemodelan menggunakan perangkat lunak pada computer adalah pilihan yang dapat mempermudah studi pada sistem yang diinginkan. Penelitian ini menggunakan *software* ETAP 12.6.0 sebagai *software* untuk merancang sistem PLTMG terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe.

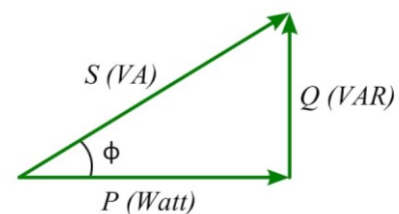
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Konsep Dasar Aliran Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya. Berikut ini akan dijelaskan tentang segitiga daya menggunakan gambar disertai penjelasan dan perhitungannya[8].

Menurut [7], daya aktif (P) adalah daya listrik yang dibangkitkan di sisi keluaran generator, kemudian dimanfaatkan oleh konsumen, dapat dikonversi ke bentuk energi lainnya seperti energi gerak pada motor, bisa juga menjadi energi panas pada heater, ataupun dapat diubah kebentuk energi listrik lainnya. Perlu diingat bahwa daya ini memiliki satuan watt (W), kilowatt (kW) atau tenaga kuda (HP).

Sedangkan daya reaktif (Q) adalah suatu besaran yang digunakan untuk menggambarkan adanya fluktuasi daya pada saluran transmisi dan distribusi akibat dibangkitkannya medan/daya magnetik atau beban yang bersifat induktif (seperti : motor listrik, trafo dan las listrik). walaupun namanya adalah daya, namun daya reaktif ini tidak nyata dan tidak bisa dimanfaatkan. Daya ini memiliki satu volt-ampere-reaktif (VAR) atau kilovar (kVAR). Daya semu (S) merupakan jumlah daya total yang terdiri dari daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).



Gambar. 1 Segitiga Daya

B. *Losses*

Konduktor pada bagian penyaluran energi listrik mempunyai resistansi terhadap arus listrik, jadi ketika sistem beroperasi pada bagian penyaluran ini akan terjadi rugi daya

yang berubah menjadi energi panas. Rugi daya pada gardu induk relatif kecil, sehingga rugi daya dalam sistem tenaga listrik dapat dianggap terdiri dari rugi daya pada jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Jika energi disalurkan melalui jaringan arus bolak-balik tiga fasa, maka rugi daya pada jaringan tersebut adalah daya yang ditimbulkan pada saluran yaitu daya yang tidak terpakai[5][9].

C. Drop Tegangan

Jatuh tegangan dapat didefinisikan sebagai selisih dari tegangan kirim dengan tegangan terima, dapat ditulis dalam bentuk persamaan[2] :

$$\Delta V = |V_K| - |V_t| \quad (1)$$

Keterangan :

- VK : nilai mutlak tegangan ujung kirim
- Vt : nilai mutlak tegangan ujung

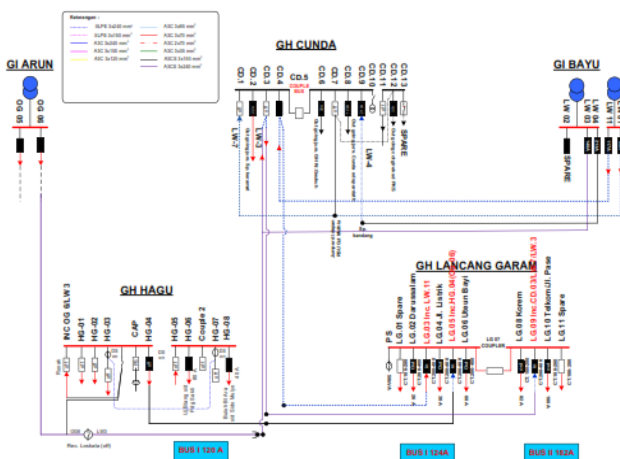
D. Metode Aliran Daya

Pada perhitungan menggunakan metode Adaptive Newton Raphson Method, iterasi yang diperlukan untuk memperoleh pemecahan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Persamaan aliran daya merupakan aljabar non-linear, sehingga tidak mempunyai solusi eksak. Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan metode iterasi dari beberapa metode numerik[3][4]. Harga konvergensi pada proses iterasi ditentukan oleh besarnya indeks presisi antara 0,01 hingga 0,00001 atau sesuai dengan yang dikehendaki. Jumlah iterasi menentukan besarnya presisi yang dikehendaki, semakin presisi semakin banyak jumlah iterasi yang harus dilakukan.

Metode Adaptive Newton Raphson Method pada dasarnya merupakan metode Gauss-Siedel yang diperluas dan disempurnakan. Metode Adaptive Newton Raphson Method adalah uraian dari deret Taylor untuk satu fungsi dengan dua variable atau lebih banyak memecahkan persoalan aliran daya yaitu dengan mencari daya aktif, daya reaktif, tegangan dan faktor daya[5].

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Objek Penelitian



Gambar. 2 Objek Penelitian

B. Teknik Pengumpulan Data

Metode yang dapat dilakukan untuk mendapatkan informasi antara lain :

1. Studi Literatur. Dalam melaksanakan penelitian ilmiah harus dilakukan teknik penyusunan yang sistematis untuk memudahkan langkah-langkah yang diambil. Begitu pula yang dilakukan dalam penelitian ini, langkah pertama yaitu dengan melakukan studi literature yang diperoleh dari buku referensi dari pustaka, akses internet dan bimbingan dari staf pengajar agar mendapatkan data-data yang berhubungan dengan permasalahan dalam penulisan tugas akhir ini.
2. Pengambilan Data lapangan. Pengambilan data lapangan dilakukan di PT. PJB UBJOM ARUN 184 MW, PT. PLN UP3 dan PLN ULP Kota Lhokseumawe meliputi, dapat berupa manual book, data record dan lain sebagainya.

Tabel 1 Data Saluran Antar Bus

Dari Bus ke Bus	Panjang Saluran (km)	Jenis Penghantar (mm)2	Impedansi Urutan Positif (pos)	Impedansi Urutan negatif (zero)
Bus-2 - Bus-3	0.8	A3CS 3x240 mm2	0,125+J0,097	0,275+J0,029
Bus GI Arun - Bus GI Bayu	15	A3CS 3x240 mm3	0,125+J0,098	0,275+J0,030
Bus GI Bayu - GH Hagu	9	A3CS 3x240 mm4	0,125+J0,099	0,275+J0,031
Bus GI Bayu - GH Cunda	5.5	A3CS 3x240 mm5	0,125+J0,100	0,275+J0,032
Bus GI Bayu - GH LG	8.8	A3CS 3x240 mm6	0,125+J0,101	0,275+J0,033

Tabel 2 Impedansi kawat Penghantar Menurut SPLN 64 : 1945

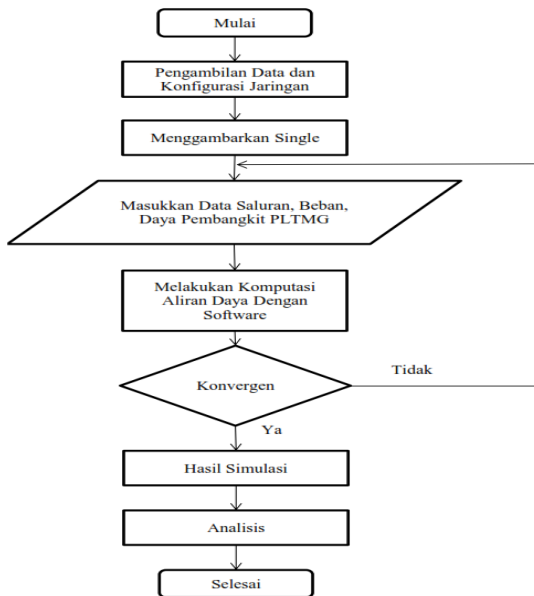
Tahanan (R) dan Reaktansi (X _L) Penghantar AAC Tegangan 20 kV (SPLN 64 : 1985)					
Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif (Ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/km)
16	2.2563	7	1.6380	1.8382+j 0.4035	1.9862+j 1.6910
25	2.8203	7	2.0475	1.1755+j 0.3895	1.3245+j 1.6770
35	3.3371	7	2.4227	0.8403+j 0.3791	0.9883+j 1.6666
50	3.9886	7	2.8957	0.5882+j 0.3677	0.7362+j 1.6552
70	4.7193	7	3.4262	0.4202+0.3572	0.5682+j 1.6447
95	5.4979	19	4.1674	0.3096+j 0.3464	0.4576+j 1.6339
120	6.1791	19	4.6837	0.2451+j 0.3375	0.3931+1.6250
150	6.9084	19	5.2365	0.1961+j 0.3305	0.3441+j 1.6180
185	7.6722	19	5.8155	0.1590+j 0.3239	0.3070+j 1.6114
240	8.7386	19	6.6238	0.1225+ j 0.3157	0.2705+j 1.6032

Impedansi Kabel Tanah Dengan Penghantar Al					
A (mm ²)	R (mm)	L (mH/ km)	C (mf/km)	Impedansi Urutan Positif (Ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/km)
150	0.206	0.33	0.26	0.206+j 0.104	0.356+j 0.312
240	0.125	0.31	0.31	0.125+j 0.097	0.275+j 0.029
300	0.100	0.30	0.34	0.100+j 0.094	0.250+j 0.282

Tahanan (R) dan Reaktansi (X _L) Penghantar AAAC Tegangan 20 kV (SPLN 64 : 1985)					
Luas Penampang (mm ²)	Jari-jari (mm)	Urut	GMR (mm)	Impedansi Urutan Positif (Ohm/km)	Impedansi Urutan Nol (Ohm/km)
16	2.2563	7	1.6380	2.0161+j 0.4036	2.1641+j 1.6911
25	2.8203	7	2.0475	1.2903+j 0.3895	1.4384+j 1.6770
35	3.3371	7	2.4227	0.9217+j 0.3790	1.0697+j 1.6665
50	3.9886	7	2.8957	0.6452+j 0.3678	0.7932+j 1.6553
70	4.7193	7	3.4262	0.4608+j 0.3572	0.6088+j 1.6447
95	5.4979	19	4.1674	0.3096+j 0.3449	0.4876+j 1.6324
120	6.1791	19	4.6837	0.2688+j 0.3376	0.4168+j 1.6324
150	6.9084	19	5.2365	0.2162+j 0.3305	0.3631+j 1.6180
185	7.6722	19	5.8155	0.1744+j 0.3239	0.3224+j 1.6114
240	8.7386	19	6.6238	0.1344+j 0.3158	0.2824+j 1.6034

C. Flowchart

Flow chart penelitian dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini.

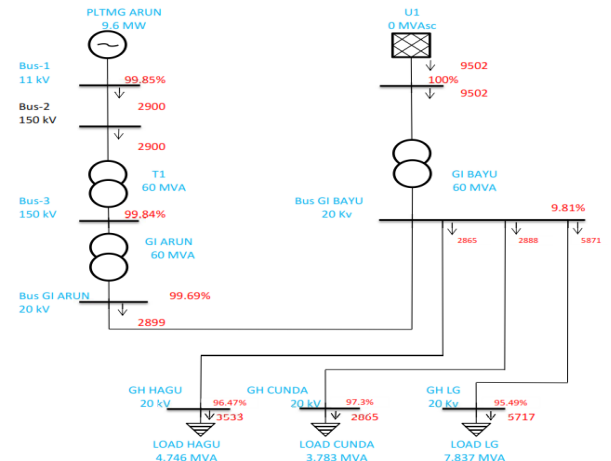


Gambar. 3 Flowchart

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sistem

Pengujian sistem yang dilakukan dalam penelitian yaitu sistem interkoneksi PLTMG Arun dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe dengan mensimulasikan *load flow analysis*. Perhitungan aliran daya ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan, daya aktif dan reaktif pada setiap bus. *Power Flow Study Case* yang digunakan untuk analisis studi aliran daya sistem interkoneksi PLTMG Arun dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe adalah menggunakan pembebanan dan pembangkit sistem *design*, dengan menggunakan metode *Adaptive Newton-Raphson Method* dengan maksimum itersi 99, *konvergen* pada iterasi 3, nilai presisinya 0.0001000, frekuensi sistem sebesar 50 Hz. Adapun peta aliran daya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4.Peta Aliran Daya Sistem

B. Hasil Pengujian Sistem

Hasil simulasi yang dilakukan dalam penelitian yaitu pada sistem interkoneksi PLTMG Arun dengan kelistrikan Lhokseumawe dapat diperoleh daya aktif sebesar 12,402 MW, daya reaktif 9,697 Mvar, dan daya semu sebesar 15,743 kVar. Drop tegangan rata-rata pada sistem sebesar 3,56% (712 Volt), didapatkan juga nilai losses daya dari keseluruhan sistem yaitu sebesar 286.9 kW untuk daya aktif (P) dan 699,8 kVar untuk daya reaktif (Q). total ada 11 bus yang digunakan dalam simulasi ini dengan frekuensi 50 Hz.

Pada PLTMG Arun Pembebanan Generator yang diizinkan oleh PLN adalah sebesar 80% dari kapasitas daya Generator yang nantinya akan terinterkoneksi dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe. Dengan adanya PLTMG Arun maka kebutuhan daya listrik untuk sistem kelistrikan

Lhokseumawe akan terpenuhi, dikarenakan satu blok mampu menyuplai 48,21 MW dari 5 *engine generator*.

Pembebanan Yang diizinkan = Kapasitas daya * Faktor Pembebanan

$$= 12.163 \text{ kVA} * 80 \% \\ = 9.730 \text{ kVA}$$

Hasil pengujian diperoleh dengan melakukan simulasi aliran daya dengan *software* ETAP.12.6. Hasil simulasi menunjukkan kondisi sistem yaitu aliran daya, *losses* dan *drop* tegangan. Simulasi perhitungan aliran daya menggunakan metode *Adaptive Newton-Raphson Method*. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada tabel 2, tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 2. Aliran Daya

NO	Dari Bus	Ke Bus	Daya Kirim		Daya Terima	
			P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	Bus-1	Bus-2	2,900	0,682	2,900	0,664
2	Bus-2	Bus-3	2,900	0,664	2,899	0,645
3	Bus-3	Bus-4	2,899	0,645	9,502	9,014
4	Bus-4	GI Bayu	9,502	9,014	9,494	8,675
5	GI Arun	GI Bayu	2,900	0,645	2,858	0,613
6	GI Bayu	GH Hagu	2,876	2,150	2,865	2,149
7	GI Bayu	GH Cunda	3,592	2,696	3,533	2,650
8	GI Bayu	GH LG	5,871	4,407	5,717	4,288

Tabel 3. Losses

ID	Dari Bus	Ke Bus	Losses	
			kW	kVar
Cable-1	Bus-2	Bus-3	0,1	0,0
Cable-2	GI Arun	GI Bayu	41,6	32,3
GI Arun	Bus-3	Bus GI Arun	0,4	18,5
Cable-3	Bus GI Bayu	GH Hagu	59,0	45,7
Cable-4	Bus GI Bayu	GH Cunda	23,3	18,1
Cable-5	Bus GI Bayu	GH LG	154,0	119,5
GI Bayu	Bus-4	Bus GI Bayu	7,9	357,3
T1	Bus-1	Bus-2	0,4	18,5

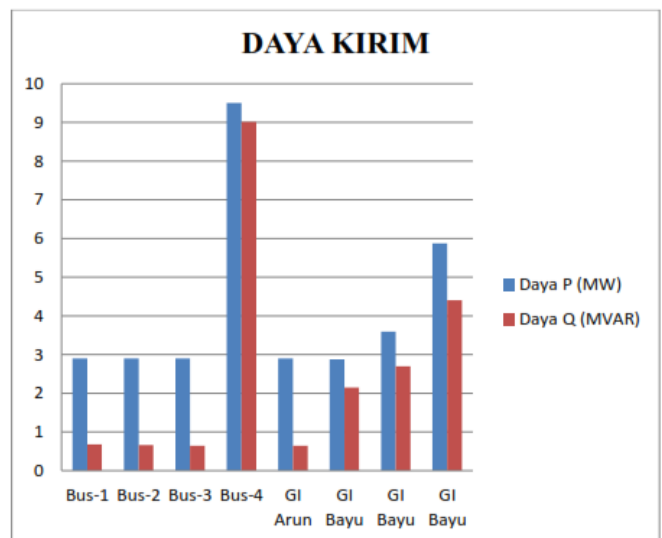
Tabel 4. Drop Tegangan

ID	Dari Bus	Ke Bus	Drop Tegangan (%)
Cable-1	Bus-2	Bus-3	1,60
Cable-2	GI Arun	GI Bayu	0,15
GI Arun	Bus-3	Bus GI Arun	1,63
Cable-3	Bus GI Bayu	GH Hagu	0,80
Cable-4	Bus GI Bayu	GH Cunda	2,60
Cable-5	Bus GI Bayu	GH LG	1,90
GI Bayu	Bus-4	Bus GI Bayu	0,15
T1	Bus-1	Bus-2	0,00

Berikut ini hasil dari tabel 2, tabel 3 dan tabel 4 dapat dibuat dalam bentuk grafik, berturut-turut grafik karakteristik aliran daya (daya kirim dan daya terima, Losses dan drop tegangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5, gambar 6, gambar 7 dan gambar 8

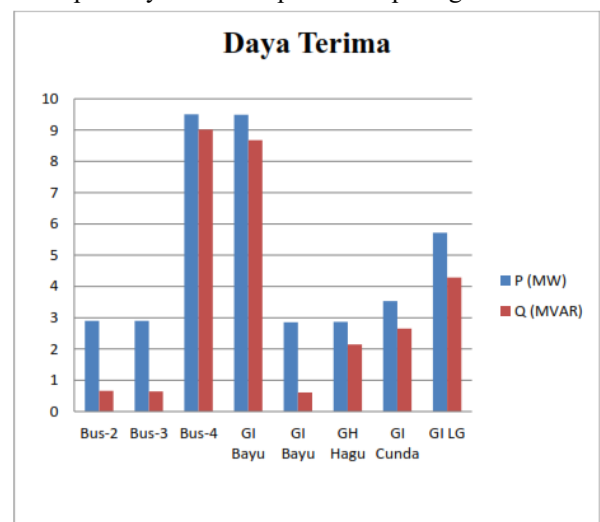
a. Karakteristik Aliran Daya

Pada gambar 5 grafik daya kirim aktif (P) dan daya kirim reaktif (Q), hasil terbesar untuk daya kirim aktif (P) diperoleh 9,502 MW dan daya reaktif (Q) 9,014 Mvar yang terdapat pada bus-4. Sedangkan hasil terkecil yang dihasilkan untuk daya kirim aktif (P) terdapat pada bus-3 yang menghubungkan bus-4 yaitu sebesar 2,899 MW, sedangkan untuk daya kirim reaktif (Q) terdapat pada bus-4 dan GI Arun 0,645 Mvar.



Gambar 5 Grafik Daya Kirim

Adapun daya terima dapat dilihat pada gambar 6

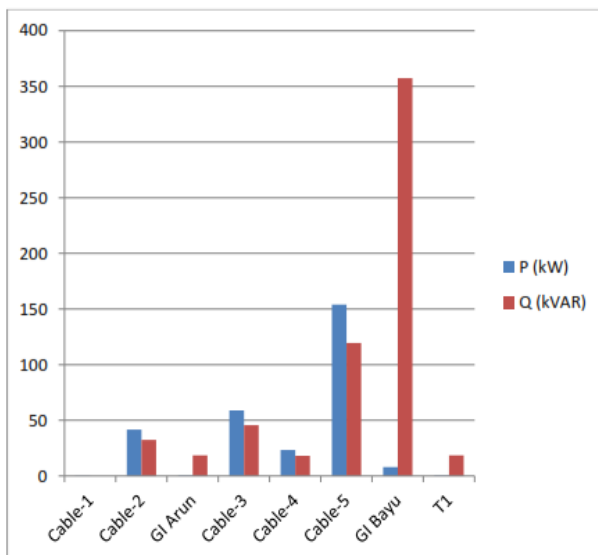


Gambar 6 Grafik Daya Terima

Pada gambar 4.3 grafik daya terima aktif (P) dan daya terima aktif (Q), hasil terbesar untuk daya terima aktif (P) diperoleh 9,502 MW dan daya reaktif (Q) 9,014 MVAR yang terdapat pada bus-4. Sedangkan hasil terkecil yang dihasilkan untuk daya terima aktif (P) dan reaktif (Q) terdapat pada pada GI Arun yang menghubungkan ke GI Bayu yaitu sebesar 2,858 MW dan 0,613Mvar.

b. Karakteristik Losses Daya

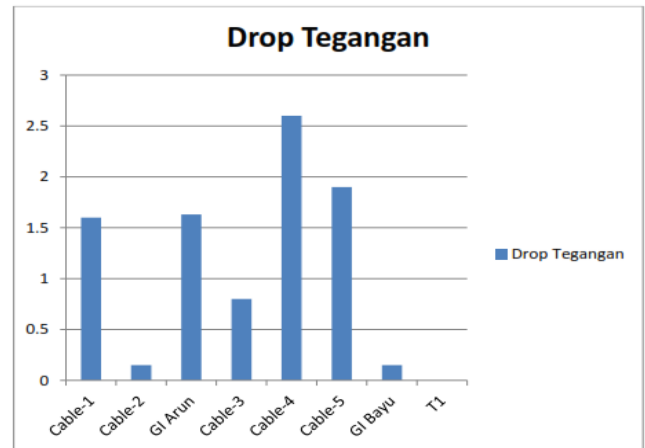
Pada gambar 7 karakteristik losses daya aktif P (kW), hasil terbesar terdapat cable-5 antara bus GI Bayu dengan GH LG yaitu sebesar 154,0 kW untuk daya aktif (P). Sedangkan untuk karakteristik losses daya reaktif Q (kVar), hasil terbesar pada GI Bayu antara bus-4 dan GI Bayu 357,3 kVar. Sedangkan losses daya terkecil terdapat pada Cable-1 antara bus bus-2 dengan bus-3 yaitu sebesar 0,1 kW untuk daya aktif (P) dan 0,0 kVar untuk daya reaktif (Q).



Gambar 7 Losses Daya

c. Karakteristik Drop Tegangan

Pada gambar 8 menunjukkan besarnya drop tegangan dinyatakan dalam % pada masing-masing bus yang disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6. Drop tegangan terbesar terdapat pada cable-4 antara bus GI Bayu dengan GH Cunda yaitu sebesar 2,60%. Sedangkan kondisi aman (marginal) bagi sistem kelistrikan nilai tegangannya harus dibawah 5% sesuai standar PLN



Gambar 8 Drop Tegangan

V. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi aliran daya menggunakan software ETAP Power Station 12.6 pada sistem interkoneksi PLTMG Arun dengan sistem kelistrikan Lhokseumawe, maka dapat diperoleh sebagai berikut :

1. Hasil simulasi aliran daya akan memberikan gambaran daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit melalui suatu saluran hingga ke beban. Daya kirim dan daya terima pada saluran penghubung antar bus. Daya referensi (Swing Buses) yaitu sebesar 12.402 MW, 9,697 MVAR dan 15,743 MVA.
2. Besarnya drop tegangan dan susut energi (losses) terbesar yaitu masing-masing 2,60% dan 154,0 kW untuk daya aktif dan 98,1 kVAR untuk daya reaktif (Q). hasil yang didapat dari hasil keseluruhan bahwa nilai drop tegangan maupun losses daya masih dalam keadaan toleransi.
3. Untuk memenuhi daya beban permintaan di Lhokseumawe maka PLTMG Arun harus menyuplai 12,116 MW, 9,087 MVAR dan 15,144 MVA ke sistem kelistrikan lhokseumawe atau dengan menghidupkan dua engine.

Penulis berharap kepada pihak PT. PLN (Persero) UP3 Lhokseumawe dapat lebih meningkatkan mutu kelistrikan dilhokseumawe walaupun drop tegangan atau losses masih dalam standar, tapi masalah pemadaman listrik yang terjadi di lhokseumawe masih sangat sering dirasakan oleh masyarakat, yang nantinya berdampak pada kesan yang kurang baik dari masyarakat ke PT. PLN (Persero) UP3 Lhokseumawe. Dan penulis juga berharap kepada pihak jurusan Teknik Elektro sebaiknya kedepan diadakan mata kuliah mengenai ETAP yang bisa dipelajari untuk menganalisis aliran daya, hubung singkat, starting motor, transient stability, koordinasi relay proteksi dan sistem harmoni.

REFERENSI

- [1] Marsudi, Djiteng. 2016. "Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi 3". Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [2] Marsudi, Djiteng. 2005. "Pembangkitan Energi Listrik". Jakarta : Erlangga.
- [3] Nazaruddin dkk. 2018. "Analisis Beban tak Seimbang Pada Jaringan Distribusi Sistem Radial Feeder LK 07 Sistem Kelistrikan Lhokseumawe". Lhokseumawe.
- [4] Prabowo, H. 2007. "Analisis Aliran Daya di Wilayah Kerja PT PLN (Persero) UPT Semarang". Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- [5] Rizkiansyah, M. 2019. "Analisis Aliran Daya Pada Jaringan Distribusi 20 kV Sistem Kelistrikan Banda Aceh". Skripsi. Lhokseumawe : Program Studi Teknologi Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Lhokseumawe.
- [6] Senen, Adri dkk. "Studi Interkoneksi Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa 1×9.9 MW di Deli Serdang". 2019.
- [7] Sigit, A. P. 2015. "Analisis Aliran Daya (Load Flow) dalam Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0.0 di PT. Kota Jati Furnindo Jepara". Skripsi. Semarang : Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang.
- [8] Stevenson, Jr. W. D. 1990. "Analisis Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : Erlangga
- [9] Sulasno. 1993. " Analisis Sistem Tenaga Listrik. Semarang : Satya Wacana.
- [10] Suyono, Hadi dkk. 2012. " Analisis Stabilitas Sistem Daya pada Interkoneksi PLTMH Ampelgading di GI Turen". Ampelgading.