

ANALISIS ALIRAN DAYA TAK SEIMBANG PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL

Nazaruddin

nazar_aw@yahoo.com

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja jaringan distribusi radial pada saat dibebani dalam kondisi beban tak seimbang. Pembebanan tak seimbang terjadi akibat permintaan daya masing-masing fasa tidak sama, hal ini terjadi karena pemakaian beban masing-masing pelanggan bervariasi. Untuk mengetahui teknis sistem kelistrikan dilakukan analisis yang meliputi pembangkit, saluran dan beban terpasang. Hal ini dapat dilakukan dengan melakukan simulasi aliran daya (*power flow*) untuk kondisi beban tak seimbang pada jaringan distribusi radial. Penyelesaian aliran daya tak seimbang disimulasikan dengan software aplikasi ETAP versi 7.0.0, yang akan diuji pada jaringan distribusi radial penyulang Syiah Kuala sistem kelistrikan Banda Aceh. Hasil simulasi program menunjukkan bahwa besarnya daya pada bus GH Merduati (sebagai *slack bus*), masing-masing sebesar 450,9 KW dan 218 KVAR untuk fasa A, 453,1 KW dan 219,9 KVAR untuk fasa B dan 451,2 KW dan 221,3 KVAR untuk fasa C dengan rugi-rugi daya (*losses*) paling besar terjadi pada kabel 1 yang menghubungkan GH Merduati dengan bus 1 yang melayani beban GD SKL 2 yaitu 0,223% untuk fasa A, 0,224% untuk fasa B dan 0,224% untuk fasa C. Total rugi-rugi daya (*losses*) yang terjadi pada penyulang Syiah Kuala yaitu sebesar 5 KW dan 6,2 KVAR. *Drop* tegangan yang paling tinggi juga terjadi kabel 1 yang menghubungkan Gardu Hubung (GH) Merduati dengan bus 1 yang melayani beban GD SKL 2 yaitu 0,31 % untuk fasa A, 0,32% untuk fasa B dan 0,32 % untuk fasa C.

Keyword: beban, tak seimbang, aliran daya, distribusi

1. PENDAHULUAN

Aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini memerlukan pula informasi aliran daya dalam kondisi normal maupun darurat [1].

Masalah aliran daya mencakup perhitungan aliran daya dan tegangan sistem pada terminal tertentu. Representasi tunggal selalu dilakukan karena sistem dianggap seimbang.[4]. Untuk kondisi beban tak seimbang perhitungan aliran daya dan tegangan sistem dilakukan masing-masing fasa, hal ini dilakukan karena besaran-besaran daya, tegangan dan arus-arus masing-masing fasa tidak sama besar.

Dalam penyalurkan energi listrik dimana pusat pembangkit tenaga listrik yang berada jauh dari pusat beban akan mengalami kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang serta beban yang

terus bertambah, sehingga dalam penyaluran daya listrik tersebut akan mengalami susut tegangan (*voltage drop*) dan rugi-rugi daya (*losses*) sepanjang saluran yang dilaluinya [5].

Fokus penelitian ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui aliran daya pada jaringan distribusi 20 KV untuk kondisi beban tak seimbang, hasil simulasi tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya daya aktif dan daya reaktif ujung kirim dan ujung tarima, *drop* tegangan dan rugi-rugi daya per fasa.

2. KAJIAN PUSTAKA

Keseimbangan Beban

Beban dari fasa banyak seimbang adalah beban dimana arus yang mengalir pada beban-beban simetris dan beban tersebut dihubungkan pada tegangan yang simetris pula. Dalam menganalisa beban-beban seperti ini biasanya diasumsikan disuplai oleh tegangan simetris pula. Dengan demikian analisa dapat dilakukan secara perfasa saja. Jadi dalam hal ini beban selalu diasumsikan seimbang pada pada setiap fasa, sedangkan pada kenyataannya beban-beban tersebut tidak seimbang. Dalam hal ini penyelesaiannya menggunakan komponen simetris[1].

Aliran Daya

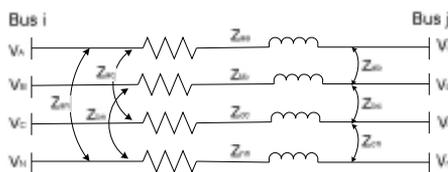
Aliran daya adalah studi yang dilaksanakan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Informasi ini sangat dibutuhkan guna mengevaluasi unjuk kerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkitan maupun pembebanan. Analisis ini memerlukan pula informasi aliran dalam kondisi normal maupun darurat [2].

Tujuan aliran daya adalah untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal [3].

Model sistem tiga fasa tak seimbang

Gambar 1 menunjukkan jaringan tiga fasa antara bus i dan j . Parameter jaringan dapat ditentukan berdasarkan metode yang dikembangkan oleh Carson (1926). Sebuah matriks 4×4 yang memasukkan induktansi sendiri dan induktansi bersama, dapat dituliskan sebagai berikut [7]:

$$[Z_{abcn}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} & Z_{cn} \\ Z_{na} & Z_{nb} & Z_{nc} & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$



Gambar 1 Jaringan tiga fasa

Untuk sistem yang diketanahkan, VN dan Vn seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1, diasumsikan sama dengan nol. Persamaan (1) digunakan tanpa memasukan pengaruh netral atau penghantar diketanahkan dan digunakan untuk menghitung aliran daya tak seimbang.

$$[Z^{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Hubungan antara tegangan bus dan arus cabang dalam gambar 1 dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{Aa} \\ I_{Bb} \\ I_{Cc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Sehingga persamaan tegangan jatuh pada masing-masing penghantar fasa a, b dan c dari gambar 1 adalah:

$$V_a = V_{ia} - V_{ja} = I_a Z_{aa} + I_b Z_{bb} + I_c Z_{cc} \quad (4.a)$$

$$V_b = V_{ib} - V_{jb} = I_a Z_{ab} + I_b Z_{bb} + I_c Z_{bc} \quad (4.b)$$

$$V_c = V_{ic} - V_{jc} = I_a Z_{ca} + I_b Z_{bc} + I_c Z_{cc} \quad (4.c)$$

Berdasarkan teori komponen simetris maka impedansi urutan dari penghantar saluran transmisi dapat ditentukan perfasanya.

$$V^{abc} = I^{abc} Z^{abc} \quad (5)$$

$$Z^{abc} = \frac{V^{abc}}{I^{abc}} \quad (6)$$

Sehingga impedansi perfasa

$$Z^{abc} = \frac{AV^{012}}{AI^{012}} \quad (7)$$

$$\frac{V^{012}}{I^{012}} = A^{-1} Z^{abc} A \quad (8)$$

Sehingga:

$$Z^{012} = A^{-1} Z^{abc} A \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat ditulis:

$$Z^{012} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Untuk merubah kembali impedansi urutan menjadi impedansi per fasa [6].

$$V^{012} = I^{012} Z^{012}$$

Substitusikan persamaan $V_a^{012} = A^{-1} V^{abc}$ dan

$$I^{012} = A^{-1} I^{abc} \text{ sehingga}$$

$$A^{-1} V^{abc} = Z^{012} A^{-1} I^{abc} \\ Z^{abc} = AZ^{012} A^{-1} \quad (11)$$

Persamaan di atas dapat di tulis:

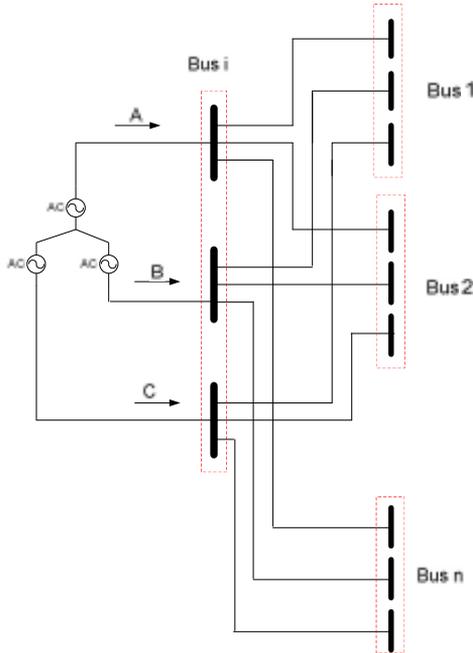
$$Z^{abc} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (12)$$

Persamaan aliran daya tiga fasa tak seimbang

Untuk menentukan arus yang mengalir antara bus *i* dan bus *j* pada masing-masing fasa pada Gambar 1, berdasarkan persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} I_{a_{ij}} \\ I_{b_{ij}} \\ I_{c_{ij}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{aa} & Y_{ab} & Y_{ac} \\ Y_{ba} & Y_{bb} & Y_{bc} \\ Y_{ca} & Y_{cb} & Y_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{Aa} \\ V_{Bb} \\ V_{Cc} \end{bmatrix}$$

Misalkan saluran digambarkan dalam bentuk sistem tiga fasa seperti terlihat pada gambar 2 [3]:



Gambar 2 Model bus sistem tenaga tiga fasa

Dari Gambar 2 persamaan arus tiga fasa pada bus *i* dapat ditulis:

$$I_i^p = \sum_{q=a,b,c} V_i^p \sum_{j=0}^n y_{ij}^{p,q} - \sum_{j=1}^n y_{ij}^{p,q} V_j^q \quad (13)$$

dengan $p=a,b,c$

Persamaan daya:

$$S_i^p = V_i^p I_i^{p*} \quad (14)$$

karena

$$S_i^p = P_i^p + jQ_i^p \quad (15)$$

maka

$$P_i^p + jQ_i^p = V_i^p I_i^{p*} \quad (16)$$

atau

$$I_i^p = \frac{P_i^p - jQ_i^p}{(V_i^p)^*} \quad (17)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (13) ke persamaan (17) maka diperoleh

$$\frac{P_i^p - jQ_i^p}{(V_i^p)^*} = V_i^p \sum_{q=a,b,c} \sum_{j=0}^n y_{ij}^{p,q} - \sum_{j=1}^n y_{ij}^{p,q} V_j^q \quad (18)$$

$j \neq i$

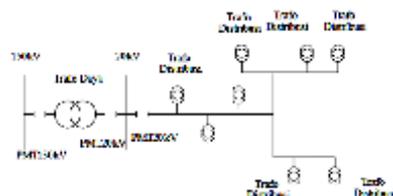
dengan $p = a, b, c$

Jaringan Distribusi Sistem Radial

Fungsi dari sistem distribusi adalah menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat catu (Gardu Induk) ke pusat-pusat kelompok beban (Gardu Distribusi) dan pelanggan, dengan mutu yang memadai. Kelangsungan pelayanan (yang merupakan salah satu unsur dari mutu pelayanan) tergantung dari jenis sarana penyalur dan peralatan pengamannya. Sarana penyalur (jaringan distribusi) tingkatan kelangsungannya tergantung dari jenis struktur jaringan yang dipakai dan juga cara pengoperasiannya, yang pada hakikatnya direncanakan dan dipilih untuk memenuhi kebutuhan dan sifat beban [1].

Jaringan radial adalah bentuk jaringan yang paling sederhana yang menghubungkan beban-beban ke titik sumber, biayanya relatif murah. Pada struktur radial ini tidak ada alternatif pasokan, oleh sebab itu tingkat keandalannya relatif rendah. Pengaturan tegangan dapat dilaksanakan dengan baik. Sistem radial ganda adalah langkah dalam usaha meningkatkan keandalan jaringan, hal ini terutama bila rute dari sirkuit tersebut berlainan satu sama lain. Dapat juga satu sirkuit merupakan cadangan saja [1].

Pada Gambar 3 dapat dilihat bentuk yang sederhana dari sistem radial, yang sistem jaringannya dimulai dari sumber, jaringan distribusi primer, gardu distribusi dan ke pelanggan.



Gambar 3 Bentuk Sederhana Sistem Radial

3. METODE PENELITIAN

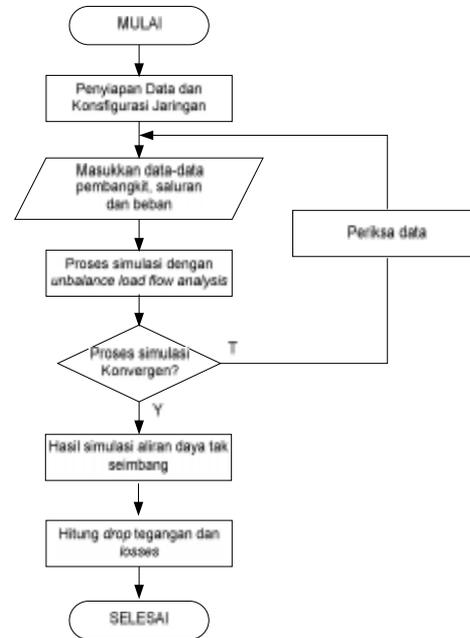
- a. **Objek Penelitian**
Untuk menguji formulasi yang diusulkan dalam tulisan ini dilakukan pada sistem jaringan distribusi 20 KV Banda Aceh penyulang Syiah Kuala
- b. **Teknik Pengumpulan Data**
Data dalam penelitian ini merupakan data skunder yang ada di lapangan yaitu jaringan distribusi 20 KV Banda Aceh penyulang Syiah Kuala, data-data tersebut antara lain:
- Parameter jaringan pada saluran antar bus yaitu nilai resistansi dan induktansi saluran.
 - Nilai tegangan pada masing-masing bus.
 - Nilai daya (P dan Q) GI Lhokseumawe (diambil sebagai *Slack Bus*).
 - Kapasitas beban (P dan Q) pada masing-masing bus.

- c. **Metode pengolahan data**
Metoda Pengolahan data adalah dengan melakukan simulasi dengan program ETAP 7.0.0 . Simulasi dilakukan pada jaringan distribusi sistem Banda Aceh penyulang Syiah Kuala.

Untuk menyelesaikan penelitian ini dapat dibuat langkah-langkah penelitian sebagai berikut :

- Membuat konfigurasi jaringan yang akan diteliti.
- Memasukkan nilai parameter jaringan (nilai R dan X) pada saluran antar bus.
- Memasukkan nilai tegangan pada masing-masing bus.
- Memasukkan nilai beban (P dan Q).
- Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 7.0.0 untuk kondisi beban tak seimbang.
- Menghitung besarnya *drop* tegangan (*voltage drop*) dan rugi-rugi jaringan (*losses*) masing-masing fasa pada saluran penghubung antar bus.

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini dapat dibuat dalam bentuk diagram alir seperti terlihat pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4 Diagram alir penelitian

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Pengujian Sistem

Pengujian sistem yang dilakukan dalam penelitian yaitu pada jaringan distribusi 20 kV sistem Banda Aceh Gardu Hubung Merduati Penyulang Syiah Kuala yang terdiri dari 38 bus , dengan nilai dasar (*base*) sebesar 30 MVA, 20 kV pada frekuensi 50 Hz, kemudian dilakukan simulasi aliran daya tak seimbang (*unbalance load flow*) dengan *software* ETAP 7.0.0.. Sistem akan dianalisis pada masing-masing bus, dengan bus 1 (*bus* GH Merduati) dianggap sebagai *slack bus* atau bus referensi.

Perhitungan aliran daya pada jaringan distribusi tipe radial yang terdiri dari 38 bus akan dianalisis dengan kondisi beban tak seimbang. Perhitungan aliran daya ini dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan, daya aktif dan daya reaktif pada setiap bus, *drop* tegangan dan *losses* pada saluran penghubung antar bus.. Hasil pengujian yang diperoleh dari simulasi aliran daya ditunjukkan pada Tabel 1, dan Tabel 2 .

Tabel 1 Hasil simulasi daya kirim dan daya terima dan % *drop* tegangan dari masing-masing fasa pada penyulang Syiah Kuala.

SALURAN FASA	DAYA MIRM		DAYA TERIMA		V _{D%} in	
	KW	KVAR	KW	KVAR		
Kabel 1	A	4509	2189	-4499	-2174	0.31
	B	4531	2199	-4521	-2183	0.32
	C	4512	2213	-4501	-2197	0.32
Kabel 2	A	4468	2159	-4468	-2159	0.02
	B	4493	2168	-4492	-2168	0.02
	C	4473	2185	-4472	-2184	0.02
Kabel 3	A	4315	2068	-4314	-2067	0.03
	B	4360	2102	-4359	-2101	0.03
	C	4308	2124	-4307	-2123	0.03
Kabel 4	A	4165	1995	-4164	-1994	0.02
	B	4208	2029	-4207	-2028	0.02
	C	4157	2049	-4156	-2049	0.02
Kabel 5	A	4037	1938	-4036	-1938	0.02
	B	4077	1963	-4076	-1963	0.02
	C	4035	1986	-4034	-1985	0.02
Kabel 6	A	1670	788	-1670	-788	0.02
	B	1687	791	-1686	-791	0.02
	C	1676	804	-1676	-803	0.02
Kabel 7	A	1587	747	-1587	-747	0.01
	B	1601	751	-1601	-751	0.01
	C	1590	761	-1590	-761	0.01
Kabel 8	A	2338	1139	-2338	-1139	0.02
	B	2357	1157	-2357	-1157	0.02
	C	2332	1165	-2331	-1164	0.02
Kabel 9	A	-2185	-1067	2185	1067	0.02
	B	-2202	-1082	2202	1082	0.03
	C	-2180	-1089	2181	1089	0.02
Kabel 10	A	-2006	-978	2007	978	0.04
	B	-2024	-996	2024	997	0.04
	C	-1999	-1002	2000	1003	0.04
Kabel 11	A	-30	-14	30	14	0.00
	B	-33	-15	33	15	0.00
	C	-31	-17	31	17	0.00
Kabel 12	A	1481	696	-1480	-696	0.01
	B	1491	699	-1491	-699	0.01
	C	1484	707	-1484	-707	0.01
Kabel 13	A	1225	570	-1225	-570	0.01
	B	1239	577	-1239	-577	0.01
	C	1226	585	-1226	-585	0.01
Kabel 14	A	1207	561	-1207	-561	0.01
	B	1222	568	-1222	-568	0.01
	C	1208	577	-1208	-577	0.01
Kabel 15	A	1025	472	-1025	-472	0.01
	B	1032	480	-1032	-480	0.01
	C	1021	482	-1021	-482	0.01
Kabel 16	A	1000	458	-1000	-458	0.00
	B	1007	470	-1007	-470	0.00
	C	993	470	-993	-470	0.00
Kabel 17	A	640	281	-640	-281	0.02
	B	657	296	-657	-296	0.02
	C	636	303	-636	-303	0.02
Kabel 18	A	640	281	-640	-281	0.01
	B	657	296	-657	-296	0.01
	C	636	303	-636	-303	0.01

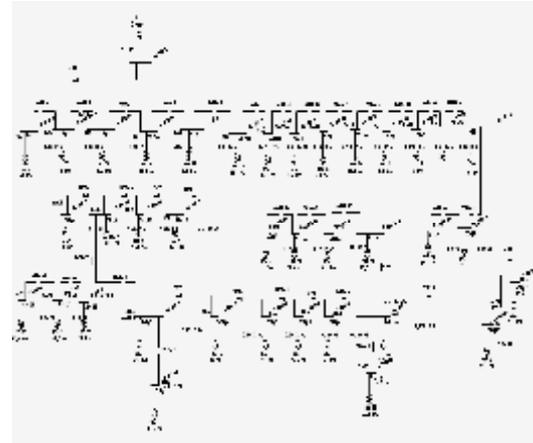
Kabel 19	A	-95	-47	95	47	0.00
	B	-96	-45	96	45	0.00
	C	-97	-47	97	47	0.00
Kabel 20	A	-44	-24	44	24	0.00
	B	-44	-20	44	20	0.00
	C	-47	-22	47	22	0.00
Kabel 21	A	-84	-42	84	42	0.00
	B	-85	-40	85	40	0.00
	C	-86	-42	86	42	0.00
Kabel 22	A	-67	-31	67	31	0.00
	B	-71	-33	71	33	0.00
	C	-67	-35	67	35	0.00
Kabel 23	A	-290	-111	290	111	0.01
	B	-300	-127	300	127	0.01
	C	-281	-128	281	128	0.01
Kabel 24	A	-286	-139	286	139	0.02
	B	-289	-138	289	138	0.02
	C	-289	-141	289	141	0.02
Kabel 25	A	61	07	-61	-07	0.00
	B	98	40	-98	-40	0.00
	C	51	55	-51	-55	0.00
Kabel 26	A	308	157	-308	-157	0.00
	B	329	172	-329	-172	0.00
	C	305	183	-305	-183	0.00
Kabel 27	A	-245	-117	245	117	0.01
	B	-250	-119	250	119	0.01
	C	-246	-123	246	123	0.01
Kabel 28	A	-151	-70	151	70	0.01
	B	-153	-75	153	75	0.01
	C	-147	-74	147	74	0.01
Kabel 29	A	-33	-17	33	17	0.00
	B	-35	-15	35	15	0.00
	C	-35	-17	35	17	0.00
Kabel 30	A	341	173	-341	-173	0.01
	B	359	188	-359	-188	0.01
	C	337	197	-337	-197	0.01
Kabel 31	A	545	260	-545	-260	0.00
	B	545	266	-545	-266	0.00
	C	540	263	-540	-263	0.00
Kabel 32	A	-428	-203	428	203	0.00
	B	-431	-210	431	210	0.00
	C	-424	-209	424	209	0.00
Kabel 33	A	-175	-84	175	84	0.00
	B	-171	-85	171	85	0.00
	C	-172	-82	172	82	0.00
Kabel 34	A	1272	626	-1272	-626	0.01
	B	1285	639	-1285	-639	0.01
	C	1267	644	-1267	-644	0.01
Kabel 35	A	869	432	-869	-432	0.01
	B	882	443	-882	-443	0.01
	C	866	449	-866	-449	0.01
Kabel 36	A	244	118	-244	-118	0.00
	B	244	118	-244	-118	0.00
	C	244	118	-244	-118	0.00
Kabel 37	A	470	237	-470	-237	0.01
	B	485	251	-485	-251	0.01
	C	465	257	-465	-257	0.01
Kabel 38	A	417	210	-417	-210	0.01
	B	436	225	-436	-225	0.01
	C	414	234	-414	-234	0.01

Tabel 2 Rugi-rugi daya pada saluran penghubung antar bus masing-masing fasa penyulang Syiah Kuala

SALURAN	LOSSES (%)		
	Fasa A	Fasa B	Fasa C
Kabel 1	0.22	0.22	0.22
Kabel 2	0.02	0.02	0.02
Kabel 3	0.03	0.03	0.03
Kabel 4	0.02	0.02	0.02
Kabel 5	0.02	0.02	0.02
Kabel 6	0.02	0.02	0.02
Kabel 7	0.01	0.01	0.01
Kabel 8	0.01	0.01	0.01
Kabel 9	0.02	0.02	0.02
Kabel 10	0.03	0.03	0.03
Kabel 11	0.00	0.00	0.00
Kabel 12	0.01	0.01	0.01
Kabel 13	0.01	0.01	0.01
Kabel 14	0.01	0.01	0.01
Kabel 15	0.00	0.00	0.00
Kabel 16	0.00	0.00	0.00
Kabel 17	0.02	0.02	0.02
Kabel 18	0.01	0.01	0.01
Kabel 19	0.00	0.00	0.00
Kabel 20	0.00	0.00	0.00
Kabel 21	0.00	0.00	0.00
Kabel 22	0.00	0.00	0.00
Kabel 23	0.01	0.01	0.01
Kabel 24	0.02	0.02	0.02
Kabel 25	0.00	0.00	0.00
Kabel 26	0.00	0.00	0.00
Kabel 27	0.01	0.01	0.01
Kabel 28	0.01	0.01	0.01
Kabel 29	0.00	0.00	0.00
Kabel 30	0.00	0.00	0.00
Kabel 31	0.00	0.00	0.00
Kabel 32	0.00	0.00	0.00
Kabel 33	0.00	0.00	0.00
Kabel 34	0.01	0.01	0.01
Kabel 35	0.01	0.01	0.01
Kabel 36	0.00	0.00	0.00
Kabel 37	0.01	0.01	0.01
Kabel 38	0.01	0.01	0.01

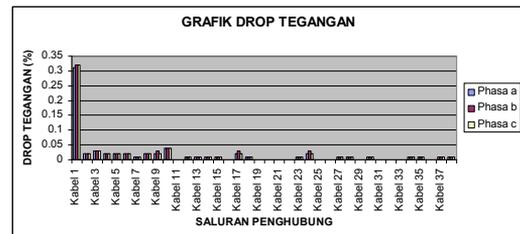
Tabel 1 memperlihatkan hasil simulasi aliran daya tak seimbang yang dijalankan dengan bahasa pemrograman ETAP 7.0.0. Hasil simulasi menunjukkan daya aktif dan reaktif baik di sisi pengirim maupun di sisi terima dan besar *drop* tegangan pada saluran penghubung antar bus. Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat peta aliran daya yang menunjukkan gambaran arah

daya aktif dan reaktif dari satu bus ke bus yang lain seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5:



Gambar 5. Peta aliran daya hasil simulasi software ETAP

Berikut ini hasil dari tabel 1 dan tabel 2 dapat dibuat dalam bentuk grafik, berturut-turut grafik *drop* tegangan pada saluran penghubung antar bus masing-masing fasa, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6.

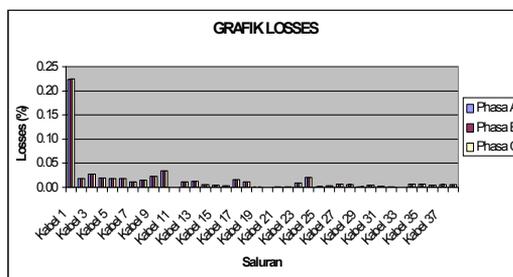


Gambar 6. Karakteristik *drop* tegangan pada saluran penghubung antar bus penyulang Syiah Kuala.

Gambar 6 menunjukkan besarnya *drop* tegangan pada saluran penghubung antar bus. Dengan sumbu vertikal sebagai besarnya drop tegangan dalam % dan sumbu horizontal sebagai saluran penghubung. *Drop* tegangan paling besar terjadi pada saluran Kabel 1 yaitu saluran yang menghubungkan antara bus GH Merduati dengan bus 1 yang melayani beban GD SKL 2, yaitu untuk fasa A sebesar 0,31%, fasa B sebesar 0,32 % dan fasa C sebesar 0,32 %, sedangkan yang terendah terjadi pada kabel 11(saluran penghubung antara bus 11 dengan bus 12), kabel 16 (saluran penghubung antara bus 17 dengan bus 18), kabel 20 (saluran penghubung antara bus 21 dengan bus 22), kabel 22 (saluran penghubung antara bus 20 dengan bus 24), kabel 26 (saluran penghubung antara bus 25

dengan bus 28), kabel 29 (saluran penghubung antara bus 30 dengan bus 31), kabel 32 (saluran penghubung antara bus 34 dengan bus 38), kabel 33 (saluran penghubung antara bus 38 dengan bus 39) dan kabel 36 (saluran penghubung antara bus 35 dengan bus 36) yaitu dibawah 0,01 % untuk masing-masing fasa yaitu fasa A, fasa B dan Fasa C.

Dari hasil simulasi, besarnya drop tegangan rata-rata yang terdapat pada saluran distribusi 20 kV Penyulang Syiah Kuala masih di bawah 5%, apabila *drop* tegangan melebihi dari 5 %, dinamakan dengan tegangan kritis (*critical voltage*), tegangan ini dianggap tidak aman bagi sistem.



Gambar 7. Grafik rugi-rugi daya penyulang Syiah Kuala

Dari grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 7 dapat dilihat bahwa rugi-rugi (*losses*) paling besar terjadi pada kabel 1 yaitu penghubung antara Gardu Hubung Merduati dengan bus trafo distribusi SKL 02 yaitu fasa A sebesar (0,22%)1,006 kW dan 1,538 kVAR, fasa B sebesar (0,22%) 1,016 kW dan 1,553 kVAR dan fasa C sebesar (0,22%) 1,011 kW dan 1,546 kVAR. Rugi-Rugi daya (*losses*) paling kecil terdapat pada kabel 11 (saluran penghubung antara bus 11 dengan bus 12), kabel 19 (saluran penghubung antara bus 20 dengan bus 21), kabel 20 (saluran penghubung antara bus 21 dengan bus 22), kabel 22 (saluran penghubung antara bus 20 dengan bus 24), kabel 25 (saluran penghubung antara bus 25 dengan bus 27), kabel 29 (saluran penghubung antara bus 30 dengan bus 31) dan kabel 33 (saluran penghubung antara bus 38 dengan bus 39) masing-masing dibawah 0,01 % untuk fasa A, fasa B dan fasa C.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi aliran daya pada jaringan distribusi 20 kV sistem Lhokseumawe,

maka penulis dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil simulasi aliran daya akan memberikan gambaran daya aktif dan daya reaktif (ujung kirim dan ujung terima), *drop* tegangan dan rugi-rugi daya masing-masing fasa A, B dan C pada tiap-tiap bus,. Daya referensi (*slack bus*) yaitu daya pada bus GH Merduati yaitu masing-masing sebesar 450,9 KW dan 218 KVAR untuk fasa A, 453,1 KW dan 219,9 KVAR untuk fasa B dan 451,2 KW dan 221,3KVAR untuk fasa C,.
2. Rugi-rugi daya (*losses*) paling besar terjadi pada kabel 1 yang menghubungkan GH Merduati dengan bus GD SKL 2 yaitu 0,223% untuk fasa A, 0,224% untuk fasa B dan 0,224% untuk fasa C. Total *losses* yang terjadi pada penyulang Syiah Kuala yaitu sebesar 5 KW dan 6,2 KVAR
3. Drop tegangan yang paling tinggi juga terjadi kabel yang menghubungkan Gardu Hubung (GH) Merduati dengan bus Gardu Distribusi (GD) SKL 2 yaitu 62,89 V untuk fasa A, 63,18 V untuk fasa B dan 63,20 untuk fasa C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Basri, H. 1993. *Sistem Distribusi Daya Listrik*. ISTN. Jakarta.
- [2] Cekdin, C. H. 1993. 2006. “*Sistem Tenaga Listrik*”. Andi. Yogyakarta
- [3] Nazaruddin. 2006. *Analisis Aliran Daya Tak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik Berdasarkan Komponen Simetris*. Tesis FT UGM Yogyakarta
- [4] Nazaruddin. 2010. Simulasi Load Flow pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Kelistrikan Lhokseumawe Dengan Software Matlab. *Prosiding Seminar Nasional FT. UISU*. 27-28 April 2010, Medan. Hal. 19-27.
- [5] Nazaruddin. 2013. Simulasi Aliran Daya Untuk Menentukan Drop Tegangan pada Jaringan Distribusi 20 KV Sistem Lhokseumawe. *Kumpulan Makalah Pekan Ilmiah FT. UISU*. 25-26 Juni 2013, Medan. Hal. 253-261.
- [6] Saadat. H., 1999, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, New York.
- [7] Teng, J.H.,2000, *A Network-Topology-based Three-Phase Load Flow for Distribution System*, Proc. Natl. Sci. ROC(A), Vol. 24, No. 4, pp. 259-264.