

Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Fast Decoupled Pada Sisi Tegangan 6.3 KV PT. Semen Tonasa V

Kristin Melani Pangloli¹⁾, Sarma Thaha²⁾, H. Ahmad Gaffar³⁾
^{1,2,3}Prodi D4 Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung pandang
email:kristinmelanip10@gmail.com¹⁾

Abstrak

Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik merupakan analisis yang mengungkapkan kinerja suatu sistem tenaga listrik dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja. Hasil utama dari aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap saluran (bus), daya nyata dan daya reaktif yang ada pada setiap saluran. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi aliran daya, menentukan rugi-rugi daya (losses) pada saluran serta menentukan jatuh tegangan pada setiap bus sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa V. dalam penelitian ini digunakan software MATLAB R2013a dan ETAP Power Station 16.0.0 dengan metode fastdecoupled untuk mempermudah dalam perhitungan aliran daya. Dari hasil simulasi didapatkan pada swing bus, nilai daya aktif (P) sebesar 45.173MW, daya reaktif (Q) sebesar 13.81 MVAR dan daya semu (S) sebesar 47,24 MVA. Besar rugi daya (losses) sebesar 1.796 MW atau sebesar 0.45 % dan 7.566 MVAR atau sebesar 3.87%. Rata-rata besar jatuh tegangan pada setiap bus sebesar 3 % dan besar jatuh tegangan terbesar yaitu 1.5197 dengan persentase tegangan sebesar 2.1161%, nilai tersebut jauh dibawah persyaratan yang ditetapkan, yaitu drop tegangan maksimum sebesar $\pm 5\%$ dari tegangan nominal (Times New Roman 10, spasi tunggal).

Keywords: Aliran daya, Rugi-rugi daya (losses), Jatuh tegangan, , ETAP Power Station 16.0.0, metode Fastdecoupled.

I. PENDAHULUAN

PT. Semen Tonasa (Persero) adalah produsen semen terbesar di kawasan Indonesia Timur yang menempati lahan seluas 715 hektar di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, sekitar 68 kilometer dari kota Makassar. PT. Hal ini jelas membuat PT. Semen Tonasa membutuhkan pasokan energi listrik yang cukup besar karena banyaknya beban yang harus disuplai dari peralatan-peralatan listrik yang mereka gunakan PT. Semen Tonasa yang juga mengonsumsi beban induktif yang cukup besar terbukti dari banyaknya beban yang bersifat induktif misalnya saja pompa air, motor listrik, kipas angin dan alat-alat lain yang memanfaatkan energi listrik untuk menghasilkan energi gerak sebagai penggerak utama. Hal ini menyebabkan meningkatnya pemakaian daya reaktif pada sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa, yang dapat mengakibatkan tegangan menurun, faktor daya menurun dan bertambahnya rugi-rugi pada sistem kelistrikan PT. Semen Tonasa [10].

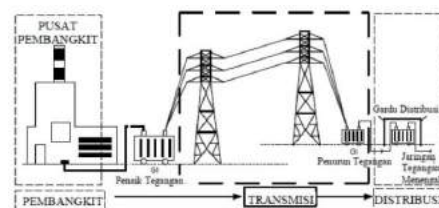
Analisis aliran daya dalam sistem tenaga listrik merupakan analisis yang mengungkapkan kinerja suatu sistem tenaga listrik dan aliran daya (nyata dan reaktif) untuk keadaan tertentu ketika sistem bekerja. Hasil utama dari aliran daya adalah besar dan sudut fasa tegangan pada setiap saluran (bus), daya nyata dan daya reaktif yang ada pada setiap saluran. Hasil analisis aliran daya dapat digunakan untuk mengetahui besarnya losses (rugi daya dan tegangan), alokasi daya reaktif dan kemampuan sistem untuk memenuhi pertumbuhan beban [9].

Metode *Fast Decoupled* adalah merupakan salah satu diantara metode-metode penyelesaian perhitungan aliran daya. Metode ini merupakan metode penyelesaian yang sederhana praktis dan sangat cepat dengan hasil perhitungan yang dapat diandalkan. Metode ini didapat dari penyederhanaan dan pengembangan metode *Newton-Raphson* dengan menggunakan prinsip decoupled yaitu adanya ketergantungan yang kuat antara daya nyata dengan sudut fasa tegangan dan ketergantungan yang kuat antara daya reaktif dengan besarnya tegangan.

II. KAJIAN LITERATUR

A. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan sebuah sistem kelistrikan yang menyalurkan daya listrik dari pembangkit listrik ke konsumen. Daya listrik yang disalurkan melalui sebuah jaringan yang disebut jaringan transmisi dan distribusi. Melalui jaringan ini daya listrik dapat dimanfaatkan oleh konsumen. Dalam penyalurannya komponen-komponen yang tidak dipisahkan satu dari yang lainnya. Sehingga secara umum sistem tenaga listrik dibagi atas 3 bagian utama, yaitu: pembangkit, transmisi, dan distribusi [2].



Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

B. Aliran Daya

Analisis aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya yang terdapat pada setiap simpul atau bus suatu sistem tenaga listrik [9].

Menurut Sulasno, 1993, kegunaan studi analisis aliran daya ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui tegangan-tegangan pada setiap simpul yang ada.
2. Untuk mengetahui semua peralatan apakah memenuhi batas-batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru.
4. Pada hubung singkat, stabilitas, dan pembebanan ekonomis.

Untuk melakukan perhitungan aliran daya, diperlukan data-data untuk menganalisisnya. Referensi data yang diperlukan adalah sebagai berikut [2]:

1. Data Saluran
2. Data Bus
3. Data Spesifikasi

C. Klasifikasi Sistem Aliran daya

Klasifikasi sistem aliran daya dibagi dalam beberapa bagian, antara lain [1]:

1. Representasi Transformator

Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis unntuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- a. Transformator daya
- b. Transformator distribusi
- c. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan)

2. Representasi Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

3. Representasi Bus (Busbar)

Busbar adalah suatu penghantar dengan impedansi rendah dimana beberapa sirkit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka dengan tiga busbar fasa dan satu fasa netral.

4. Representasi Kapasitor Bank

Kapasitor bank berfungsi sebagai salah satu alternatif dalam peralatan listrik terhadap koreksi faktor daya (*power factor*).

5. Representasi Beban

Jenis beban terbagi menjadi dua jenis yaitu :

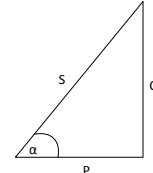
- a. *Static Load* (Beban Statis)
- b. *Dinamic Load* (Beban Dinamis)

6. Representasi Sistem Proteksi

Representasi sistem proteksi adalah sebagai pengaman baik untuk mengamankan peralatan listrik maupun pengguna peralatan listrik (manusia).

D. Konsep Dasar Aliran Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami segitiga daya. Gambar 2 menunjukkan segitiga daya disertai penjelasan perhitungannya.



Gambar 2. Segitiga Daya

Keterangan:

- P = Daya aktif
Q = Daya reaktif
S = Daya semu
Cos φ = Faktor daya

Dalam sistem tenaga listrik dikenal tiga jenis daya, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S).

Dalam suatu analisis sistem tenaga listrik khususnya pada analisis aliran daya selalu mengacu pada konsep-konsep dasar aliran daya sebagai berikut [9].

1. Daya listrik pada rangkaian satu fasa

Daya yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan (*voltage drop*) pada beban tersebut dalam volt dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban dalam ampere, jika terminal-terminal beban digambarkan sebagai *a* dan *n* serta jika tegangan dan arus dinyatakan dengan:

$$V_{an} = V_{\max} \cos \omega t \text{ dan} \\ I_{an} = I_{\max} \cos (\omega t - \theta) \quad (1)$$

θ = positif (+), untuk arus *lagging*
 θ = negatif (-), untuk arus *leading*

Maka daya sesaat (S) :

$$S = V_{\max} I_{\max} \cos \omega t \cos (\omega t - \theta) \quad (2)$$

$$S = V \times I \\ = |V||I| \cos \theta (1 + \cos \omega t) + |V||I| \sin \theta \sin 2\omega t \quad (3)$$

$$P = |V||I| \cos \theta \quad (4)$$

$$Q = |V||I| \sin \theta \quad (5)$$

Keterangan:

- P : Daya nyata atau aktif (Watt)
Cos θ : Faktor daya
Q : Daya reaktif (positif untuk beban induktif dan negatif untuk beban kapasitif)

2. Daya listrik pada rangkaian tiga fasa

Daya yang diberikan oleh generator tiga fasa atau yang diserap oleh beban tiga fasa adalah jumlah daya

dari tiap-tiap fasa. Pada sistem tiga fasa seimbang berlaku rumus:

$$P = 3V_p I_p \cos \theta_p \quad (6)$$

$$Q = 3V_p I_p \sin \theta_p \quad (7)$$

Keterangan:

θ_p = sudut antara arus fasa (*lagging*) dan tegangan fasa

Hubungan yang terjadi pada rangkaian system tiga fasa umumnya ada dua hubungan yaitu bintang (Y) dan segitiga (Δ).

Hitungan bintang (Y):

$$V_p = \frac{V_1}{\sqrt{3}}, I_p = I_1 \quad (8)$$

Hitungan segitiga (Δ):

$$V_p = I_1; I_p = \frac{I_1}{\sqrt{3}} \quad (9)$$

Kemudian dimasukkan ke persamaan menjadi:

$$P = \sqrt{3} V_i I_i \cos \theta_p \quad (10)$$

$$Q = \sqrt{3} V_i I_i \sin \theta_p \quad (11)$$

Sehingga:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} V_i I_i \quad (12)$$

3. Faktor Daya

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut, yaitu sebesar:

$$P = V_r \cdot I_m \cos \varphi \quad (13)$$

Keterangan:

P : daya aktif (Watt)

V_r : tegangan (Volt)

I_m : arus maksimal (Ampere)

$\cos \varphi$: faktor daya

Tegangan dikalikan dengan arus disebut daya semu. Daya rata-rata dibagi daya semu disebut dengan faktor daya. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung:

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{V \cdot I} = \frac{V I \cos \varphi}{V \cdot I} = \cos \varphi \quad (14)$$

4. Rugi Daya (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. Jika energi listrik disalurkan melalui jaringan arus

bolak-balik tiga fasa, maka rugi daya pada jaringan tersebut adalah:

$$\Delta P = 3 \cdot I^2 \cdot R \text{ (watt)} \quad (15)$$

Keterangan:

I : arus konduktor (Ampere)

R : resistansi konduktor (Ω)

5. Jatuh Tegangan

Dalam Menurut Lily, 2015 dalam Suprianto (2018), Tegangan Jatuh atau *drop voltage* adalah besar penurunan atau kehilangan nilai tegangan listrik pada suatu penghantar dari nilai tegangan normalnya, atau bisa juga disebut bahwa tegangan jatuh adalah selisih antara besar tegangan pangkal (Sumber) dengan besar tegangan ujung (beban) dari suatu instalasi listrik. Besarnya kerugian tegangan atau tegangan jatuh (*drop voltage*) yang terjadi pada suatu jaringan listrik, dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain; panjang kabel Penghantar, besar arus, tahanan jenis (ρ), luas penampang penghantar.

Dengan demikian persamaan untuk penurunan tegangan 3 fasa menjadi sebagai berikut:

$$V_r = \frac{(\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \theta)}{A} \quad (16)$$

Maka :

$$V_R = V_S - V_r \quad (17)$$

$$\% V_r = \frac{V_r}{V_k} \times 100\% \quad (18)$$

Dengan:

V_r = Penurunan tegangan atau *Drop Voltage* (volt)

V_R = Tegangan kirim (Volt)

V_S = Tegangan kirim (Volt)

I = arus (A)

ρ = tahanan jenis ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)

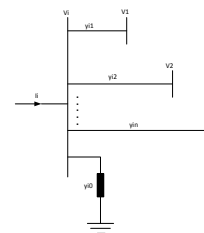
l = panjang penghantar (m)

φ = sudut *power factor*

A = Luas penampang (mm^2)

E. Persamaan Aliran Daya

Sistem tenaga listrik tidak hanya terdiri dari dua bus, melainkan terdiri dari beberapa bus yang akan terinterkoneksi satu sama lain. Gambar 2 menunjukkan tipe bus dalam sistem tenaga yang saluran transmisinya telah diubah menjadi admitansi-admitansi dalam satuan perunit pada base/dasar MVA.



Gambar 1. Tipikal bus dari sistem tenaga

Jika menggunakan hukum kirchoff Arus, besarnya nilai arus dalam jaringan sistem ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$I_i = y_{i0} V_i + y_{i1} (V_i - V_1) + y_{i2} (V_i - V_2) + \dots + y_{in} (V_i - V_n) \\ = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in}) V_i - y_{i1} V_1 - y_{i2} V_2 - \dots - y_{in} V_n \quad (22)$$

Atau

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=0}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (23)$$

Daya aktif (nyata) dan daya reaktif pada bus i dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (24)$$

Sedangkan besarnya arus pada bus I adalah:

$$I_i = \frac{P_i + jQ_i}{V_i} \quad (25)$$

I_i akan bertanda positif bila arus mengalir menuju ke bus I dan akan bertanda negatif bila arus mengalir keluar dari bus i .

Jika persamaan (3) disubstitusikan dengan persamaan (2) akan diperoleh hasil:

$$\frac{P_i + jQ_i}{V_i} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=0}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (26)$$

Persamaan-persamaan di atas mengidentifikasi bahwa perhitungan aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dengan menggunakan sistem iterasi [6].

F. Metode Fast

Karakteristik yang menarik dari pengoperasian sistem tenaga adalah ketergantungan daya nyata dengan sudut fasa tegangan bus dan daya reaktif dengan magnitude tegangan bus. Dalam kondisi ini, adanya perubahan yang kecil pada magnitude tegangan tidak akan menyebabkan perubahan yang berarti daya nyata. Sedangkan perubahan kecil pada sudut tegangan fasa tidak menyebabkan perubahan pada daya reaktif. Ini dapat dibuktikan pada pendekatan untuk menyatakan ketertarikan pada P dan S serta Q dan V . Pada metode *Fastdecoupled* persamaan matriks menjadi dua persamaan *decoupled* yang membutuhkan waktu yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan menggunakan pemecah persamaan *Newton Raphson* [6].

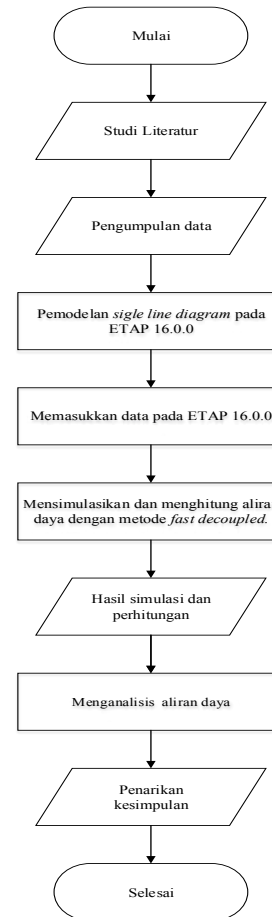
G. Electrical Transient Analyser Program (ETAP)

ETAP merupakan program yang menawarkan solusi yang paling komprehensif untuk desain, simulasi, dan analisis pembangkitan, transmisi, dan distribusi listrik untuk sebuah sistem tenaga listrik yang besar. Program ETAP ini dapat menganalisa load flow, short circuit, motor acceleration, harmonic, transient stability, star-protective device coordination, DC load flow, DC short circuit, battery discharge sizing, unbalance load flow, optimal power flow, reliability assessment, optimal capacitor placement dan switching sequence management [4].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di PT. Semen Tonasa (Persero) yang berlokasi di Desa Biringere, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep, 90651. Penelitian dan pengumpulan data berlangsung selama 6 bulan yang dilakukan pada bulan Januari 2020 sampai dengan bulan Juni 2020.

Metode penelitian merupakan cara-cara teknik/penjabaran suatu analisa/perhitungan yang dilakukan dalam rangka mencapai suatu tujuan dalam penelitian. Berikut diagram alir penelitian:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Sistem Kelistrikan PT Semen Tonasa V

PT. Semen Tonasa V disuplay dari pembangkit listrik tenaga gas yang berasal dari BTG Biringkassi. Suplay listrik dari BTG Biringkassi ini sebesar 2 x 35 MW. Tegangan yang dibangkitkan sebesar 11 kV, lalu masuk ke *step-up transformer* 2 x 45 MVA; 11/70 kV. Tegangan sebesar 70 kV ini yang kemudian digunakan sebagai tegangan transmisi pada Pabrik Semen Tonasa V. Panjang saluran transmisinya sejauh 17 km. Dari tegangan 70 kV ini kemudian diturunkan menjadi sebesar 6,3 kV dan kemudian disalurkan ke *substation* dan *electrical room* yang ada di Pabrik Tonasa V. Pada Pabrik Semen Tonasa V terdapat 9 *electrical room* (ER) dan 3 *substation* (SS).

Pabrik Tonasa V menggunakan trafo dengan kapasitas daya dan rating tegangan yang berbeda-beda. Masing-masing trafo tersebut yaitu 2 unit main trafo pada switchgear di BTG Biringkassi, 3 unit main trafo pada gardu induk Pabrik Tonasa V, 17 unit trafo distribusi, dan 13 unit trafo untuk motor-motor induksi.

2. Hasil Simulasi Sistem Kelistrikan Semen Tonasa V Menggunakan ETAP Power Station 16.0.0

Tinjauan untuk perhitungan aliran daya adalah sistem dalam keadaan normal dimana data diambil pada saat operasi dan dapat dilihat pada panel kontrol pada semua beban yang terpasang dimana beban keseluruhan pada ruang ER 582 51-59 sebesar 41.52 MW dan seluruh pembangkit beroperasi, kecuali dari PLN. Dimana *slack/swing bus* ada pada satu generator 35 MW, dan bus generator 25 MW bekerja sebagai *voltage control*. Aliran daya sistem kelistrikan Pabrik Tonasa V ini menggunakan *software ETAP 16.0.0* dengan metode *fastdecoupled*, maksimum iterasi 9999, *precision of solution* 0.01, frekuensi sistem 50 Hz, dan unit sistem metric.

Tabel 1. Aliran Daya Pada PT Semen Tonasa V

No	Dari Bus	Ke Bus	Tegangan Nominal (KV)	Tegangan Akhir (KV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus (Amp)	PF (θ)
1	582 ER 51	Bus1 54	6.3	6.2962	0.742	0.58	91.15	78.8
2		Bus1 52	6.3	6.2987	0.219	0.093	23.03	92.1
3		Bus1 51	6.3	6.3000	0.404	0.169	42.41	92.3
4	582 ER 52	582 ER 53	6.3	6.2099	0.883	0.883	120.8	70.7
5		Bus1 55	6.3	6.2956	0.835	0.656	102.7	78.6
6	582 ER 53	582 ER 51	6.3	6.2943	1.366	0.842	155.2	85.1
7		Bus1 57	6.3	6.2956	0.857	0.676	107.2	78.5
8	582 ER 54	Bus1 58	6.3	6.2987	0.0044	0.203	19.9	2.19
9		Bus1 48	6.3	6.2981	0.161	0.1	18.34	85
10	582 ER 54	Bus1 43	6.3	6.2987	0.264	0.0924	27	94.4
11		Bus1 47	6.3	6.2597	5.243	3.259	596.7	84.9
12	582 ER 55	Bus1 46	6.3	6.2994	0.175	0.0749	18.37	91.9
13		Bus1 45	6.3	6.2975	0.524	0.405	64.01	79.1
14	582 ER 55	Bus1 44	6.3	6.2981	0.358	0.276	43.71	79.2
15		Bus1 07	6.3	6.2975	0.475	0.362	57.47	79.5

No	Dari Bus	Ke Bus	Tegangan Nominal (KV)	Tegangan Akhir (KV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVAR)	Arus (Amp)	PF (θ)
16	582 ER 55	Bus9 6	6.3	6.2950	0.934	0.335	95.48	94.1
17		Bus9 6	6.3	6.2950	0.934	0.335	95.48	94.1
18		Bus1 04	6.3	6.2975	0.494	0.173	50.35	94.4
19		Bus1 05	6.3	6.2975	0.511	0.18	52.18	94.3
20		Bus9 9	6.3	6.2931	1.432	0.931	164.3	83.8
21		Bus9 3	6.3	6.2987	0.277	0.211	33.56	79.5
22		Bus9 5	6.3	6.2981	0.373	0.286	45.26	79.4
23		Bus1 08	6.3	6.2943	0.413	0.319	50.21	79.2
24		Bus1 17	6.3	6.2987	0.151	0.0527	15.31	94.4
25		582 ER 56	Bus1 20	6.3	6.2975	0.293	0.223	35.37
26	Bus1 22		6.3	6.2962	0.767	0.312	79.5	92.6
27	Bus1 23		6.3	6.2969	0.225	0.095	23.47	92.1
28	582 ER 57	Bus1 25	6.3	6.2981	0.185	0.141	22.38	79.6
29		Bus1 26	6.3	6.2987	0.306	0.233	37.03	79.5
30		Bus1 29	6.3	6.3000	0.0649	0.0219	6.598	94.7
31		Bus1 31	6.3	6.2975	0.269	0.0953	27.5	94.3
32	582 ER 58	Bus1 36	6.3	6.3000	0.366	0.214	40.85	86.3
33		Bus1 28	6.3	6.2994	0.296	0.227	36.05	79.4
34	582 ER 58	Bus1 27	6.3	6.2987	0.339	0.26	41.24	79.3
35		Bus1 21	6.3	6.2975	2.301	0.91	239.2	93
36	582 ER 58	Bus1 19	6.3	6.2962	1.262	0.459	129.8	94
37		Bus1 24	6.3	6.3000	0.0785	0.0266	8.01	94.7
38	582 ER 58	Bus9 1	6.3	6.2987	0.822	0.645	101	78.7
39		Bus8 9	6.3	6.2962	2.737	1.074	284.4	93.1
40	582 ER 58	Bus8 9	6.3	6.2962	2.737	1.074	284.4	93.1
41		Bus8 7	6.3	6.2981	1.302	0.474	134	94
42	582 ER 59	Bus8 4	6.3	6.3000	0.108	0.0373	11.07	94.6
43		Bus8 2	6.3	6.2994	0.452	0.35	55.25	79.1

B. Pembahasan

1. Aliran Daya PT. Semen Tonasa V

Penggunaan mode *swing* terdapat pada generator BTG Biringkassi sebesar 2 x 35 MW. Daya yang di bangkitkan untuk generator BTGN.GEN01 sebesar 28 MW dan 11.616 MVAR dan generator BTGN.GEN02 sebesar 17.173 MW dan 2.194 MVAR sehingga total daya yang di bangkitkan sebesar 45.173 MW dan 13.81 sedangkan total beban PT. Tonasa 5 sebesar 41.519 MW.

2. Rugi Daya (Losse)

Rumus yang digunakan dalam menghitung rugi daya yaitu; Rugi-rugi daya saluran = $3 \times I^2 \times R \times L$. Berikut perhitungan untuk BTGE.G01.KBL6KV.01

Diketahui: I = 2495 A

R = 0,093 Ohm/km

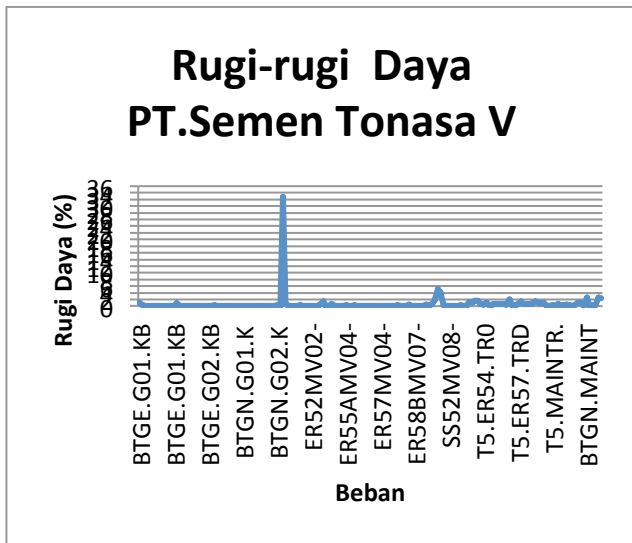
L = 0.1 km

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{rugi-rugi daya} &= 3 \times 2495^2 \text{ A} \times 0,093 \text{ Ohm/km} \times 0.1 \\ &\text{ km} \\ &= 174560 \text{ W} \\ &= 174.56 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka rugi-rugi daya pada BTGE.G01.KBL6KV.01 sebesar 174.56 kW.

Hasil Perhitungan keseluruhan rugi daya dapat sistem kelistrikan PT. Tonasa V pada gambar grafik sebagai berikut:



Gambar 3. Rugi Daya PT.Semen Tonasa V

Rugi-rugi daya terjadi akibat adanya kerugian pada jalur penghantar dan jenis penghantar. gambar diatas dapat dilihat bahwa rugi daya terbesar yaitu 22379.52 kW atau sebesar 32,735% pada beban *cabl* 6. Hal ini terjadi akibat kerugian pada jalur penghantar karena jalur penghantar ini sangat jauh yaitu sekitar 17 km, sehingga membutuhkan arus yang besar. Dan jika arusnya meningkat, maka meningkat pula besar kerugian dayanya.

Dari hasil simulasi ETAP Power System 16.0.0 besar rugi-rugi dayanya sebesar 1796.799 KW atau sebesar 0.45

% dan -7566.14 KVAR atau sebesar 3.87%. Ini menunjukkan bahwa rugi daya yang terjadi masih relatif kecil dengan presentase kurang dari 5%.

3. Jatuh Tegangan

Untuk menghitung jatuh tegangan, rumus yang digunakan adalah :

$$V_r = \frac{(\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \theta)}{A}$$

Perhitungan jatuh tegangan pada BTGE.G01.BB6KV.01:

Diketahui : I = 2764 A

ρ = 0.000000168 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

A = 50 $\text{mm}^2 = 0.00005 \text{ m}^2$

Cos θ = 0.95

L = 100 m

V = 6.3 KV = 6300 V

Penyelesaian :

$$V_r = \frac{(\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos \theta)}{A}$$

$$= \frac{(\sqrt{3} \times 0.000000168 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \times 100 \text{ m} \times 2764 \text{ A} \times 0.95)}{0.00005 \text{ m}^2}$$

$$= 152.8 \text{ V}$$

$$= 0.1528 \text{ kV}$$

$$V_R = V_s - V_r$$

$$= 6.3 \text{ kV} - 0.1528 \text{ kV}$$

$$= 6.1472 \text{ kV}$$

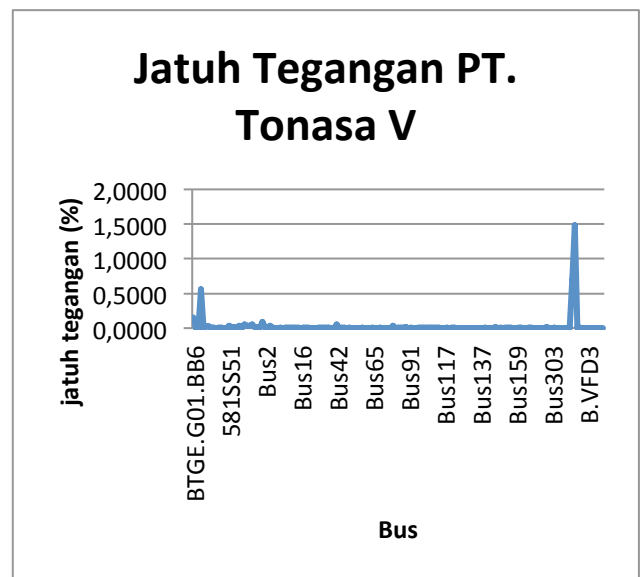
$$\% V_r = \frac{V_r}{V_k} \times 100\%$$

$$= \frac{0.15282 \text{ kV}}{6.3 \text{ kV}} \times 100\%$$

$$= 2.4255 \%$$

Jadi, rugi tegangan pada bus BTGE.G01.BB6KV.01 sebesar 0.1528 kV yaitu 2.4255 % dari tegangan nominalnya.

Hasil perhitungan jatuh tegangan pada sistem kelistrikan PT. Tonasa V pada gambar grafik berikut:



Gambar 4 Jatuh Tegangan PT. Tonasa V

Rugi-rugi tegangan terjadi akibat besarnya arus yang mengalir pada penghantar, jenis penghantar, factor daya, dan panjang penghantar. Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa rugi tegangan terbesar yang mengalir pada setiap bus terdapat pada bus 493 sebesar 1.4812 KV atau 2.1161% dari tegangan nominalnya. Rata-rata jatuh tegangan sebesar 0.3 % dari tegangan nominalnya. Nilai tersebut relatif kecil dan jauh dibawah persyaratan yang ditetapkan, yaitu drop tegangan maksimum (krisis) sebesar 5% dari tegangan nominal.

V. KESIMPULAN

Kesimpulan Berdasarkan hasil dan pembahasan pada tugas akhir ini, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada swing bus, nilai daya aktif (P) sebesar 45.173MW, daya reaktif (Q) sebesar 13.81 MVAR dan daya semu (S) sebesar 47,24 MVA sedangkan jumlah beban sebesar daya aktif (P) sebesar 41.519 MW, daya reaktif (Q) sebesar 25.733 MVAR dan daya semu (S) sebesar 55.51 MVA.
2. Besar rugi daya (losses) sebesar 1796.799 KW atau sebesar 0.45 % dan 7566.14 KVAR atau sebesar 3.87%. Ini menunjukkan bahwa rugi daya yang terjadi masih relatif kecil dengan presentase kurang dari 5%

Rata –rata besar jatuh tegangan pada setiap bus sebesar 3 %. Besar jatuh tegangan terbesar yaitu 1.4812 KV atau yang terdapat pada bus 494 dengan persentase tegangan sebesar 2.1161% .Nilai tersebut jauh dibawah persyaratan yang ditetapkan, yaitu jatuh tegangan maksimum mempunyai 5% dari tegangan nominal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kesempatan ini penulis menyampaikan rasa syukur dan berterima kasih sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa, Kedua orang Tua, saudara, Dosen-dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, teman-teman seperjuangan D4 Listrik kelas angkatan 2016, anggota MAPALA PNUP, keluarga Firda Mas Blok AE dan Semua pihak yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu yang banyak terlibat membantu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

REFERENSI

- [1] Arifin, Syamsul. 2017. *Analisis Aliran Daya Pada Sistem Kelistrikan Sumatera Utara Menggunakan Software Powerword*. Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah SumateraUtara. (<http://repository.umsu.ac.id/handle/123456789/5270>, diases pada 2 esember 2019).
- [2] Asriyani, Putri Dwi. 2018. *Studi Aliran Daya Sistem Kelistrikan PT. Makassar Tene*. Tugas Akhir, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jurusan Teknik Elektro. Makassar.
- [3] Goeritno, Arief . Zaldi Hardiyanto. 2017. *Simulasi Fenomena Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik "IEEE 5-Bus" Berbasis Metode Numeris Dan Berbantuan Aplikasi Matlab*. Program Studi Teknik

Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor.

- [4] Handayani, Ika dan A.M.Fadly Fajar. 2012. *Analisis Aliran Daya Dan Gangguan Hubungsingkat Sistem Kelistrikan Pabrik Tonasa V Di PT. semen Tonasa Menggunakan ETAP*. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- [5] Kadir, Abdul Wahid. 2018. *Studi Aliran Daya Pada Kelistrikan SULSELBAR Dengan Masuknya PLTU Mamuju 2x25 MW. PT. Tugas Akhir*, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jurusan Teknik Elektro. Makassar.
- [6] Marwan. 2018. *Komputasi Sistem Tenaga Listrik*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- [7] Mustamam. Rudi Salman. Arwadi Sinuraya. 2012. *Simulasi Dan Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyser Program (ETAP) Versi 4.0*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan.
- [8] Nasri, Muh. Wiji Aryanto. 2017. *Studi Aliran Daya Pada tragi Panakukang*. Tugas Akhir, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Jurusan Teknik Elektro. Makassar.
- [9] Nigara, Adib Gustian. 2015. *Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Texturizing Di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendalmenggunakan Software Etap Power Station 4.0*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri
- [10] Profil PT. Semen Tonasa. (http://www.sementonasa.co.id/profile_brief.php) Diakses diakses pada 2 desember 2019.
- [11] Suprianto. 2018. *Analisis tegangan jatuh pada jaringan distribusi 20KV PT.PLN Area Rantau Prapat pada Rayon Aek Kota Batu*. Program studi teknik listrik, Teknik Elektro politeknik negeri medan.
- [12] TIM PENYUSUN. 2016. *Pedoman Penulisan proposal dan skripsi program diploma empat (D-4) Bidang Rekayasa dan tata Niaga*. Politeknik Negeri Ujung Pandang.