

## PENGGUNAAN METODE OPTIMALISASI POWER FLOW (OPF) DALAM OPTIMALISASI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Maharani Putri<sup>1</sup>, Cholish<sup>2</sup>, Abdullah<sup>3</sup>, Ngairan Banu Saputro<sup>4</sup>,  
Agustina Ginting<sup>5</sup>, Esto Tumanggor<sup>6</sup>, Sutan Pardede<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,7</sup> Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan,

<sup>5</sup> Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan,

<sup>6</sup> Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan,

Jl. Almamater No.1 Kampus USU Medan, Kota Medan 20155

e-mail: [maharaniputri@polmed.co.id](mailto:maharaniputri@polmed.co.id)

**Abstrak**— Banyak teknik optimasi untuk pengalokasian pembangkitan daya antara trafo-trafo yang beroperasi agar optimal. Metode optimalisasi aliran daya dengan mensimulasikan aliran daya pada saat beban puncak menggunakan *Optimal Power Flow (OPF)* didalam aplikasi program *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*. Analisa ini bertujuan untuk melihat aliran daya optimal yang dikeluarkan masing-masing pembangkit untuk mengirim daya ke beban pada saat keadaan optimal. Adapun batasan-batasan tegangan dilakukan agar tegangan pada setiap bus tetap dalam keadaan normal. Hasil simulasi optimalisasi aliran daya yang dilakukan pada sistem kelistrikan sumatera bagian utara menghasilkan penurunan daya sebesar 1,1 MW dengan efisiensi daya mencapai 0,14 % dan selisih penurunan *losses* pada jaringan sebesar 1,1 MW dengan efisiensi mencapai 23,4 %.

**Kata kunci** : *Optimal Power Flow (OPF)*, *Elektrikal Transient Analyzer Program (ETAP)*, Efisiensi daya listrik.

**Abstract**— Many optimization techniques for allocating power generation between transformers are operating optimally. The method of optimizing power flow by simulating power flow at peak loads uses *Optimal Power Flow (OPF)* in the *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)* program application. This analysis aims to see the optimal power flow that each plant expends to send power to the load at the time of optimal state. The voltage limits are carried out so that the voltage on each bus remains in a normal state. The results of the simulation of power flow optimization carried out in the electricity system in northern Sumatra resulted in a decrease in power of 1.1 MW with power efficiency reaching 0.14% and the difference in decreasing *losses* on the network by 1.1 MW with efficiency reaching 23.4%.

**Keywords** : *Optimal Power Flow (OPF)*, *Electrical Transient Analyzer Program (ETAP)*, Electrical power efficiency.

### I. PENDAHULUAN

#### A. Latar Belakang

Analisa aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif dan faktor daya yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jaringan sistem tenaga listrik pada keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang Fokus Bidang Kajian[1]. Dalam perencanaan, pengoperasian, dan pengontrolan sistem tenaga listrik muncul berbagai persoalan dalam hal teknis maupun ekonomis, salah satunya diakibatkan oleh beban sistem yang dinamis. Di sisi lain energi listrik tidak dapat disimpan dalam jumlah banyak sehingga harus disediakan pada saat dibutuhkan oleh konsumen, akibatnya timbul persoalan dalam menghadapi kebutuhan daya listrik yang berubah dari waktu-kewaktu. Apabila daya

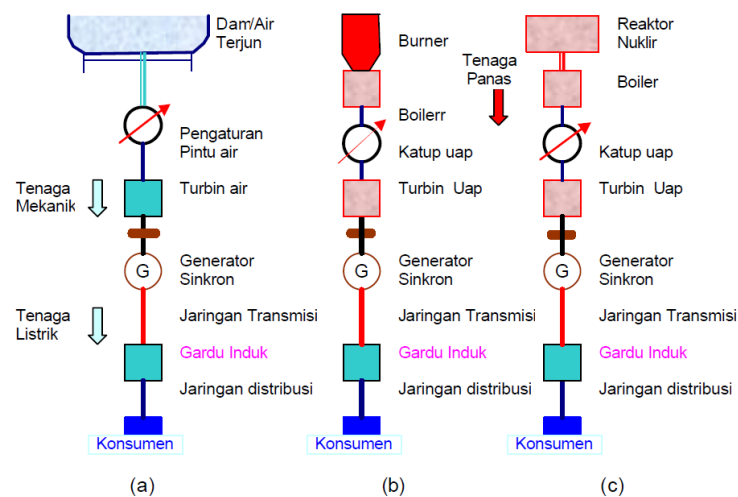
yang dikirim dari bus-bus pembangkit lebih besar dari kebutuhan daya pada bus-bus beban, maka akan timbul pemborosan daya. Sedangkan apabila daya yang dibangkitkan lebih rendah dari kebutuhan atau tidak memenuhi kebutuhan beban, maka akan timbul pemadaman lokal pada bus-bus beban, yang akan mengakibatkan kerugian pada konsumen[2]. *Software ETAP* (Electrical Transient and Analysis Program) merupakan sebuah software yang digunakan untuk keperluan simulasi suatu jaringan tenaga listrik. Salah satu kemampuan dari software ini dapat mensimulasikan aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik[3]. Optimalisasi yang dilakukan berupa optimasi daya aktif dengan batasan kendala meliputi batasan daya aktif, reaktif, serta tegangan. Optimalisasi ini dilakukan untuk mengetahui berapa daya optimal yang dapat dibangkitkan oleh masing masing unit pembangkit agar mendapatkan biaya yang minimum dengan tetap memenuhi keseimbangan beban. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mensimulasikan aliran daya pada saat beban puncak menggunakan Load Flow (LF) pada *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Dan mengoptimalkan aliran daya pada saat beban puncak menggunakan *Optimal Power Flow* (OPF) pada *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP).

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Proses Pembangkitan Tenaga Listrik

Pembangkitan tenaga listrik yang banyak dilakukan dengan cara memutar generator sinkron sehingga didapatkan tenaga listrik arus bolak-balik tiga fasa. Tenaga mekanik yang dipakai memutar generator listrik didapat dari mesin penggerak generator listrik atau biasa disebut penggerak mula. Mesin penggerak generator listrik yang banyak digunakan adalah mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas[4].

Mesin penggerak generator melakukan konversi tenaga primer menjadi tenaga mekanik penggerak generator. Proses konversi tenaga primer menjadi tenaga mekanik menimbulkan produk sampingan berupa limbah dan kebisingan yang perlu dikendalikan agar tidak menimbulkan masalah lingkungan[4].

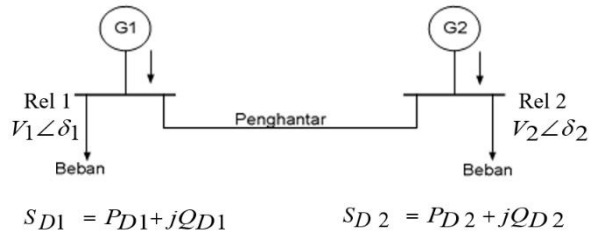


Gambar.1 Proses Pembangkitan Tenaga Listrik[5]

Gambar.1 menunjukkan diagram poses pembangkitan tenaga listrik, mulai dari tenaga primer sampai dengan konsumen (*consumers*): (a) Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), (b) Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan (c) Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

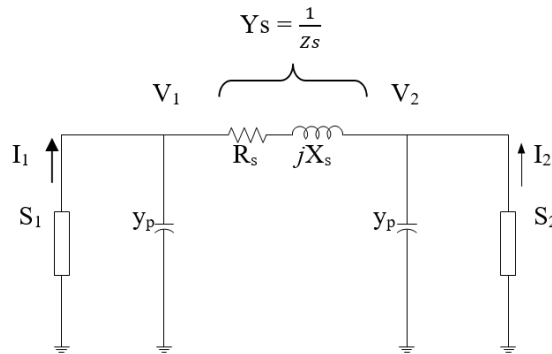
**B. Persamaan Aliran Daya**

Persamaan aliran daya secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah, untuk sistem yang memiliki 2 rel. Pada setiap rel memiliki sebuah generator dan beban, walaupun pada kenyatannya tidak semua rel memiliki generator. Penghantar, menghubungkan antara rel 1 dengan rel 2. Pada setiap rel memiliki 6 besaran listrik yang terdiri dari PD, PG, QD, QG, V, dan  $\delta$ [6].



**Gambar. 2 Diagram Satu Garis dengan Dua Rel[6]**

Pada gambar 3. dapat dihasilkan persamaan aliran daya dengan menggunakan diagram impedansi.



**Gambar 3. Rel Daya dengan Transmisi Model pi untuk Sistem Dua Rel[6]**

Besarnya arus yang diinjeksikan pada rel 1 dan rel 2 adalah :

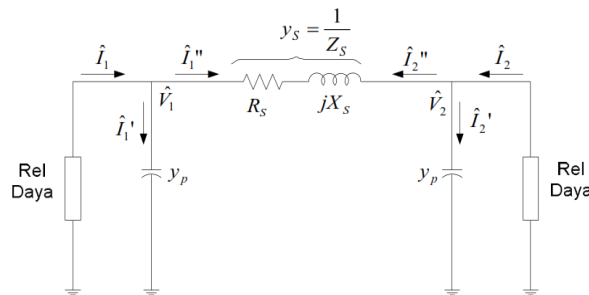
$$I_1 = I_{G1} - I_D$$

$$I_2 = I_{G2} - I_{D2}$$

Semua besaran adalah diasumsikan dalam system per-unit, sehingga :

$$S_1 = V_1 I_1^2 = P_1 + jQ_1 \Rightarrow (P_1 - jQ_1) = V_1^2 I_1$$

$$S_2 = V_2 I_2^2 = P_2 + jQ_2 \Rightarrow (P_2 - jQ_2) = V_2^2 I_2$$



**Gambar 4. Aliran arus pada rangkaian ekivalen[6]**

Aliran arus dapat dilihat pada Gambar 5, dimana arus pada rel 1 adalah [6]:

$$I_1 = \Gamma_1 + \Gamma_1'$$

$$I_1 = V_1 y_p + (V_1 - V_2) y_s$$

$$I_1 = (y_p + y_s) V_1 + (-y_s) V_2$$

$$I_1 = Y_{11} V_1 + Y_{12} V_2$$

Dimana :

$Y_{11}$  adalah jumlah admitansi terhubung pada rel 1 =  $y_p + y_s$

$Y_{12}$  adalah admitansi negatif antara rel 1 dengan rel 2 =  $-y_s$

Untuk aliran arus pada rel 2 adalah :

$$\begin{aligned} I_2 &= I_2' + I_2'' \\ I_2 &= V_2 y_p + (V_2 - V_1) y_s \\ I_2 &= (-y_s) V_1 + (y_p + y_s) V_2 \\ I_2 &= Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 \end{aligned}$$

Dimana :

$Y_{22}$  adalah jumlah admitansi terhubung pada rel 2 =  $y_p + y_s$

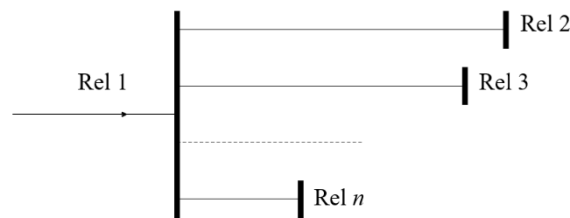
$Y_{21}$  adalah admitansi negatif antara rel 2 dengan rel 1 =  $-y_s = Y_{12}$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Notasi matrik dari Persamaan diatas adalah :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$$

Dari persamaan diatas yang diberikan untuk sistem 2 rel dapat dijadikan sebagai dasar untuk penyelesaian persamaan aliran daya sistem n-rel.



**Gambar 5. Sistem jumlah n-rel[6]**

Gambar 5. menunjukkan sistem dengan jumlah n-rel dimana rel 1 terhubung dengan rel lainnya.

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \\ \vdots \\ \hat{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \\ \vdots \\ \hat{V}_n \end{bmatrix}$$

Notasi matrik dari Persamaannya adalah :

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus}$$

Dimana :

$$Y_{bus} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} = \text{matrik rel admitansi}$$

#### **D. Aliran Daya Optimal atau *Optimal Power Flow (OPF)***

Perhitungan *Optimal Power Flow (OPF)* digunakan untuk menentukan kuantitas sistem didalam pengaturan dan operasi sistem tenaga listrik. Pertumbuhan jaringan dan tuntutan akan efisiensi dalam system kelistrikan membuat para operator didalam pengaturan dan operasi system tenaga listrik terus mencari metode yang cepat dan efisien. Metode *Optimal Power Flow (OPF)* adalah metode untuk melakukan perhitungan kebutuhan daya ( $P_{demand}$ ) dari beban guna melakukan penjadwalan pembangkit secara efisien dengan tujuan meminimasi daya total produksi dari pembangkit namun

menjaga agar sistem tetap aman dan andal. Dengan kata lain, mencari solusi ekonomis dalam penjadwalan unit pembangkit berdasarkan jumlah kebutuhan daya yang diperlukan sistem.

Metode *Optimal Power Flow* (OPF) dapat menentukan kondisi operasi optimal dari jaringan listrik yang mengalami kendala dalam pengoperasian. Faktor mana yang akan dicari titik optimal, akan dirumuskan dan diselesaikan dengan menggunakan algoritma optimasi yang sesuai, seperti metode *Newton-Raphson*. Contoh batasan-batasan yang harus diperhatikan dalam metode *Optimal Power Flow* (OPF) ini yaitu seperti pengaturan pembangkit listrik dan besar pembebanan. Kita dapat memecahkan masalah *Optimal Power Flow* (OPF) dari biaya operasi minimum pembangkit dan keseimbangan pada aliran daya. Dalam variabel *Optimal Power Flow* (OPF) dapat disesuaikan dengan output dari generator (MW) dimana variabel yang lebih spesifik, terdiri dari[7] :

- a. Tegangan Generator
- b. Posisi sadapan/posisi tap trafo
- c. *Setting switched capacitor*
- d. Arus (*load Shedding*)

*Optimal Power Flow* (OPF) memiliki aplikasi input, sebagai berikut :

- a. Dalam keadaan *emergency*, jika beberapa komponen dari system atau bus mengalami overload, *Optimal Power Flow* (OPF) dapat menyediakan "*corrective dispatch*" (pengaturan perbaikannya) dimana operator sistem dapat melakukan proses atau langkah mengurangi *overload*.
- b. OPF dapat digunakan secara periodik untuk pengaturan optimal pada *voltage generation*, tap trafo dan *capacitor switch*.

*Optimal Power Flow* (OPF) atau aliran daya optimal tidak mudah dalam hal program matematika. Beberapa metode yang digunakan, yaitu[8] :

- a. Metode Iterasi lamda ( $\lambda$ ) : salah satu metode dari banyak standart pada *economic dispatch*, dalam melakukan pengiterasian nilai lamda sampai diperoleh nilai lamda yang dikehendaki.
- b. Metode *Gradient* : Metode ini lambat dalam konvergen dan sulit dalam memecahkan masalah dari *inequality constraint*.
- c. Metode *Newton's* : kemungkinan untuk konvergen yang sangat cepat, tetapi memiliki masalah terhadap *inequality constraint*.
- d. Metode *linear programming* (LPOPF) : salah satu metode yang terkenal dalam penggunaan secara umum. Mudah dalam mengatasi masalah dari *inequality constraint*. Fungsi objektif nonlinear dan masalah *constraint* dapat diatasi dengan linearisasi.
- e. Metode *interpoint* : salah satu juga dari metode *Optimal Power Flow* (OPF) yang terluas dan terkenal. Mudah untuk mengatasi masalah dari *inequality constraint*.

Untuk mengatasi masalah tersebut maka dalam pembangunan suatu unit pembangkit yang baru diperlukan perencanaan yang baik dan matang. Yakni dengan memperhatikan masalah beban konsumen. Dimana jika kita mengetahui besar kebutuhan beban dan aliran daya, kita dapat mengatur agar suatu unit pembangkit dapat memasok daya yang dibutuhkan oleh konsumen. Mengingat bahwa listrik tidak dapat disimpan, masalah *Optimal Power Flow* (OPF) terdiri dari minimum atau maksimum fungsi objek, dan batas variabel kontrol[9].

Sistem transmisi yang complete akan dimasukkan kedalam penjadwalan pembangkitan. Proses ini biasa terkait dalam satu bagian dari algoritma komputer yang terkenal sebagai *Optimal Power Flow* (OPF). *Optimal Power Flow* (OPF) yang complete, baik dalam membuktikan penjadwalan dari banyak kuantitas yang dapat dikendalikan dalam *power system* (pembangkitan dari sistem transmisi) seperti posisi tap trafo, penjadwalan pembangkitan (MW) dan (MVar) dan lain lain[10].

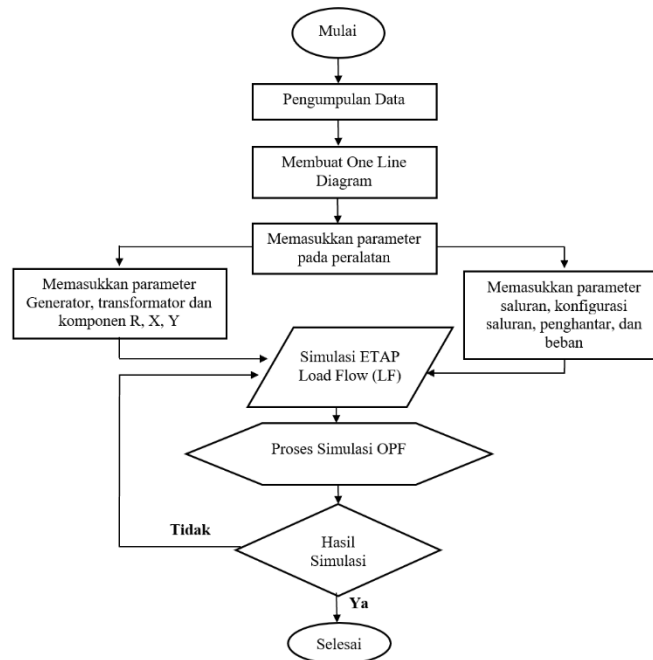
### III. METODE

Analisa untuk mengoptimalkan aliran daya dilakukan menggunakan metode *Optimal Power Flow Analyzer* (OPF) dengan bantuan simulasi pada program software komputer yang bernama *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Dengan demikian materi kajian terdiri atas :

- a. Membuat *one-line* diagram dengan jumlah 18 Gardu Induk (GI) dan 8 pembangkitan dari sistem kelistrikan sumatera bagian utara.

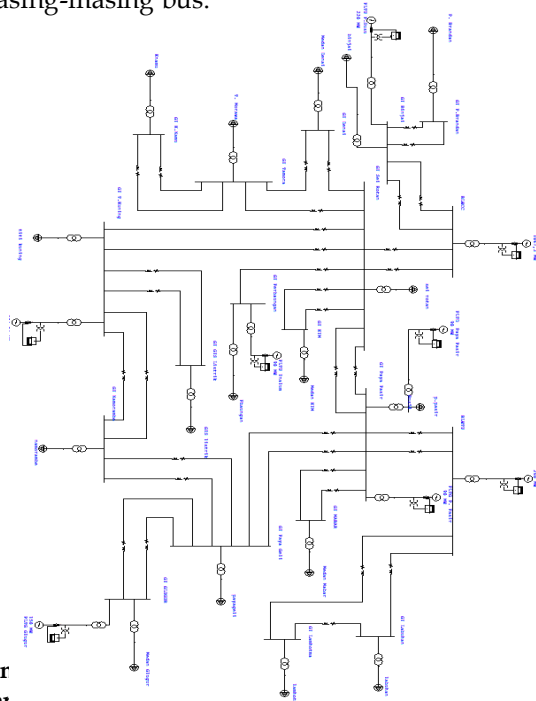
- b. Memasukkan parameter-parameter yang ada untuk mengisi masing-masing komponen.
- c. Kemudian mensimulasikan dengan memilih *Load Flow* (LF) untuk melihat aliran daya dan *Optimal Power Flow* (OPF) untuk melihat aliran daya optimal pada *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) untuk hasil simulasi.

*Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) adalah suatu program komputer yang didesain untuk menganalisis masalah transient pada jaringan sistem tenaga listrik. Oleh karena itu terdapat aturan-aturan khusus dalam memasukkan data untuk dianalisis dengan *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) yang ditunjukkan pada Gambar 6:



Gambar 6. Diagram Alir Simulasi ETAP

Simulasi akan dilakukan dengan membuat one line diagram sesuai dengan representasi pada sistem 18 Gardu Induk dari sistem kelistrikan Sumatera bagian utara. Kemudian mengisi parameter-parameter pada setiap peralatan yang sesuai dengan data yang ada, antara lain data Impedansi penghantar sistem kelistrikan Sumatera bagian utara, data unit-unit pembangkit, data transformator, dan data pembebanan pada masing-masing bus.



**Gambar 7. One-line Diagram Sistem Sumbagut 18 Bus pada ETAP**

Setelah itu, proses simulasi dan melihat hasil aliran daya saat keadaan normal dan saat optimal dari simulasi program yang telah dijalankan. Adapun data-data yang dipakai pada penelitian ini:

**Tabel .1 Data Pembangkitan pada Sistem 15 Bus**

No	Nama Pembangkit	Rating Generator		
		MW	kV	Cos $\phi$
1	PLTU Belawan	260	11/150	0,85
2	PLTGU Belawan	1067,3	11/150	0,85
3	PLTG Paya Pasir	90	11/150	0,85
4	PLTU Pangkalan Susu	220	11/150	0,85
5	PLTU Inalum	90	11/150	0,85
6	PLTD Paya Pasir	90	11/20	0,85
7	PLTD Titi Kuning	124,84	11/150	0,85
8	PLTD Glugur	150	11/150	0,85
<b>Jumlah</b>		<b>2.092,14 MW</b>		

Pada Tabel.1, terdapat 8 sumber pembangkitan yang ada pada penelitian untuk menyalurkan energi listrik dengan jumlah 2.092,14 MW dan pasokan listrik interkoneksi sumatera bagian utara PLTU Pangkalan Susu dan PLTU Inalum. Pasokan daya listrik interkoneksi sumatera bagian utara ini akan disisipkan pada pembangkitan.

**Tabel. 2 Data Panjang Saluran Transmisi, Impedansi, dan Admitansi**

No	Segment	Panjang (km)	Impedansi				Admitansi Y
			Z1 (ohm/km)		Z0 (ohm/km)		
			R1	jX1	R0	jX0	
1	Belawan - Labuhan	2,95	0,04	0,319	0,453	1,735	1,303
2	Belawan - Lamhotma	6,14	0,127	0,408	0,521	1,615	1,171
3	Belawan - Paya Pasir	6,2	0,039	0,313	0,481	1,773	1,303
4	Belawan - Sei Rotan	26,39	0,02	0,256	0,477	1,571	1,722
5	Belawan - Binjai	34,47	0,129	0,421	0,33	1,276	1,513
6	Lamhotma - Labuhan	3,2	0,129	0,421	0,33	1,276	1,513
7	Sei rotan - Paya Pasir	23,72	0,103	0,428	0,544	1,883	1,176
8	Sei rotan - Tamora	7,76	0,129	0,328	0,489	1,761	1,197
9	Sei Rotan - Denai	11,44	0,129	0,328	0,489	1,761	1,197
10	Sei rotan - Titi Kuning	17,2	0,103	0,433	0,545	1,893	1,151
11	Denai - Tamora	11,15	0,129	0,328	0,489	1,761	1,197
12	Tamora - Kuala Namu	28,2	0,129	0,328	0,489	1,761	1,197
13	Glugur - Paya Geli	11,92	0,103	0,428	0,506	1,781	1,176
14	Mabar - Paya Pasir	5,93	0,103	0,433	0,545	1,893	1,151
15	Titi Kuning - GIS Listrik	7,93	0,103	0,433	0,545	1,893	1,151
16	Paya Geli - Namorambe	18,49	0,103	0,428	0,544	1,883	1,176
17	TitiKuning- Namorambe	12,44	0,103	0,428	0,544	1,883	1,176
18	Sei Rotan - KIM	20,74	0,129	0,328	0,489	1,761	1,288
19	PayaGeli - Paya Pasir	21,27	0,103	0,428	0,544	1,883	1,176
20	Sei Rotan - Perbaungan	36,51	0,129	0,407	0,558	1,87	1,168
21	P.Brandan - Binjai	50,81	0,129	0,44	0,571	1,9	1,054
<b>Jumlah Keseluruhan Saluran</b>		<b>364,86 km</b>					

Data panjang saluran dengan Jumlah panjang penghantar keseluruhan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV pada sistem 18 bus mencapai 364,86 km.



#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Analisa Data Pembangkit pada Saat Keadaan Normal

Analisa data pembangkit pada saat keadaan normal dengan menjalankan program *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP), yaitu dengan mensimulasikan aliran daya atau *Load Flow* (LF) pada program *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Analisa ini bertujuan untuk melihat aliran daya yang dikeluarkan masing-masing pembangkit untuk mengirim daya ke beban pada saat keadaan normal. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 8.

Berikut data yang dihasilkan dari simulasi *Load Flow* (LF) pada *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) dapat dilihat pada Tabel 3 :

**Tabel 3. Tabel Hasil Aliran Daya pada ETAP**

No	Nama Pembangkit	Daya (MW)	Arus (Ampere)	Frek (Hz)	Teg (kV)
1	PLTD Paya Pasir	24	1.320	50	19,84
2	PLTU Inalum	90	4.850	50	149
3	PLTU P.Susu	200	10.613	50	148,6
4	PLTG P. Pasir	90	4.966	50	147,8
5	PLTG Glugur	95,1	8.275	50	146,4
6	PLTU Belawan	61	3.860	50	148
7	PLTD T. Kuning	124	7.135	50	145,8
8	PLTGU Belawan	68,3	5.956	50	149

Dari jumlah kapasitas daya aktif oleh keseluruhan pembangkit sebesar 2092,14 MW. Setelah melakukan proses simulasi *Load Flow*, pada saat keadaan normal. Hasil simulasi memperlihatkan daya aktif yang dikeluarkan pembangkit sebesar 807,3 MW.

$$\begin{aligned} \text{Rugi - Rugi Jaringan (Losses)} &= \text{Daya Aktif yg dibangkitkan} - \text{Daya Aktif Pembebanan} \\ &= 807,3 \text{ MW} - 802,53 \text{ MW} \\ &= 4,77 \text{ MW} \end{aligned}$$

Maka ada selisih diantara daya aktif keseluruhan pembebanan dengan daya aktif keseluruhan pembangkit menjadi dengan rugi-rugi (*losses*) sebesar 4,77 MW.

##### B. Analisa Data Pembangkit Setelah Melakukan Optimalisasi

Batasan-batasan tegangan dilakukan agar tegangan pada setiap bus tetap dalam keadaan normal. Batasan-batasan yang dilakukan terdapat pada *study case* pada OPF kemudian klik *bus voltage constraint*, berikut bus yang dibatasi terdapat dalam Tabel 4:

**Tabel 4. Nama-Nama Bus yang Dibatasi untuk Mengoptimalkan Tegangan**

No	Nama Bus	Rating Tegangan (kV)
1	GIS Listrik	150
2	GI Glugur	150
3	GI Labuhan	150
4	GI Lamhotma	150
5	GI P. Brandan	150
6	GI Binjai	150
7	GI Perbaungan	150
8	GI Namorambe	150

Kemudian menjalankan simulasi setelah mengisi parameter batasan-batasan tegangan pada *studi case Optimal Power Flow* (OPF) sesuai tabel diatas, hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4: Berikut data yang dihasilkan dari simulasi *Optimal Power Flow* (OPF) pada *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) dapat dilihat pada Tabel 5:

**Tabel 5. Tabel hasil Aliran Daya Optimal pada ETAP**

No	Nama Pembangkit	Daya (MW)	Arus (Ampere)	Frek (Hz)	Teg (kV)
1	PLTD Paya Pasir	20,1	1.058	50	20,84

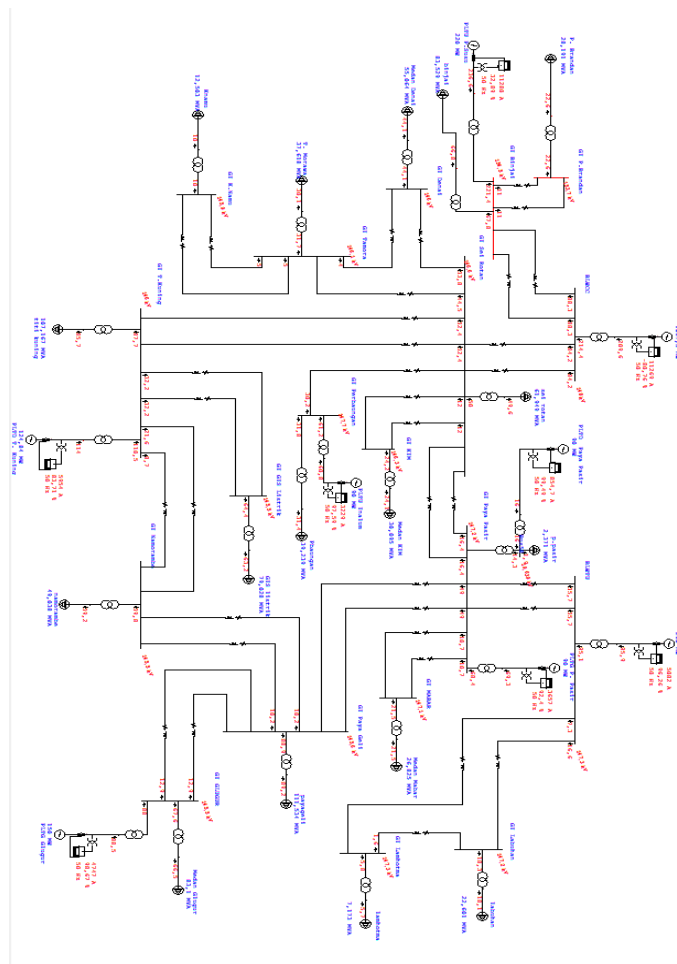


2	PLTU Inalum	75,8	3.929	50	156,3
3	PLTG P. Pasir	79,2	4.200	50	155,5
4	PLTG Glugur	95,1	5.319	50	154
5	PLTU P.Susu	97,5	5.051	50	156,2
6	PLTD T. Kuning	109,5	6.106	50	153,5
7	PLTU Belawan	115	5.051	50	155,7
8	PLTGU Belawan	214,4	11.427	50	156,5

Dari jumlah kapasitas daya aktif oleh keseluruhan pembangkit sebesar 2092,14 MW. Setelah melakukan proses simulasi *Optimal Power Flow (OPF)*, pada saat keadaan optimal. Hasil simulasi memperlihatkan daya aktif yang dikeluarkan pembangkit sebesar 806,2 MW.

$$\begin{aligned} \text{Rugi - Rugi Jaringan (Losses)} &= \text{Daya Aktif yg dibangkitkan} - \text{Daya Aktif Pembebanan} \\ &= 806,2 \text{ MW} - 802,53 \text{ MW} \\ &= 3,67 \text{ MW} \end{aligned}$$

Maka ada selisih diantara daya aktif keseluruhan pembebanan dengan daya aktif keseluruhan pembangkit menjadi dengan rugi-rugi (*losses*) sebesar 3,67 MW.



**Gambar 8. One-line Diagram Optimal Flow sistem Sumbagut 18 bus di ETAP**

Hasil daya pembangkitan *Load Flow (LF)* dan *Optimal Power Flow (OPF)* dapat dilihat pada Tabel 6. berikut :

**Tabel 6. Daya Aktif pada saat Load Flow (LF) dan Optimal Power Flow (OPF)**

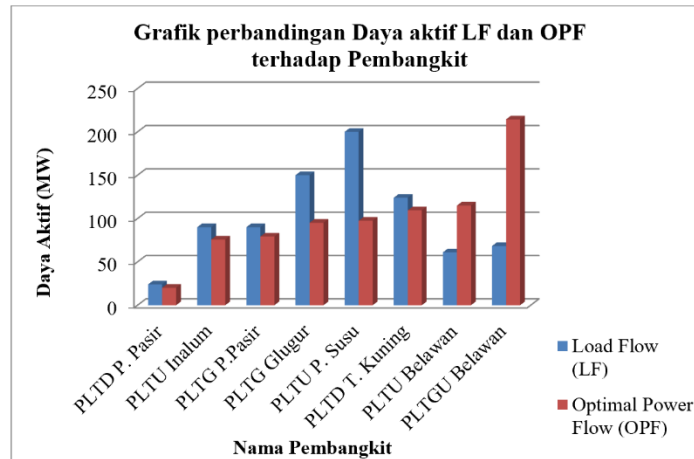
No	Nama Pembangkit	Load Flow (MW)	OPF (MW)
1	PLTD Paya Pasir	24	20,1
2	PLTU Inalum	90	75,8
3	PLTG P. Pasir	90	79,2
4	PLTG Glugur	150	95,1

5	PLTU P.Susu	200	97,5
6	PLTD T. Kuning	124	109,5
7	PLTU Belawan	61	115
8	PLTGU Belawan	68,3	214,4
<b>Jumlah</b>		<b>807,3</b>	<b>806,2</b>

Pada Tabel 6. dapat dilihat selisih daya aktif yang dibangkitkan oleh pembangkit menunjukkan adanya pengurangan *losses* di jaringan transmisi yang sebelumnya pada *Load Flow* sebesar 807,3 MW, berubah saat *Optimal Power Flow* menjadi 806,2 MW.

Maka selisih pengurangan *losses* saat *Load Flow* dan *Optimal Power Flow* menjadi :

$$\begin{aligned} \text{Pengurangan Losses} &= \text{Losses LF} - \text{Losses OPF} \\ &= 4,77 \text{ MW} - 3,67 \\ &= 1,1 \text{ MW} \end{aligned}$$



Gambar 9. Perbandingan Daya aktif pada saat *Load Flow* dan *Optimal Flow*

Pada Gambar 9. grafik perbandingan daya aktif yang dibangkitkan saat normal dan saat optimalisasi membuat pembangkit-pembangkit dengan bus tegangan (*voltage bus*) menurunkan daya yang dibangkitkannya saat proses optimalisasi dilakukan. Efek ini terjadi karena pembangkit dengan bus mengayun (*swing bus*) menampung beban-beban berlebih yang terjadi interkoneksi dengan pembangkit bus tegangan yang terdekat. Tujuannya juga untuk menjaga kehandalan dan memperpanjang umur pembangkit yang harus terus berkerja *overload* saat waktu beban puncak (WBP), terlebih lagi pembangkit dengan bus yang mengayun dalam kasus ini masih memiliki banyak kapasitas energi yang dapat dibangkitkan sehingga saat waktu beban puncak pembangkit dengan bus menngayun dibebankan lebih besar dan proses kehandalan pada sistem jaringan transmisi lebih baik dan stabil.

## V. KESIMPULAN

1. Optimalisasi menghasilkan penurunan daya sebesar 1,1 MW dengan efisiensi daya mencapai 0,14 % dan selisih penurunan *losses* pada jaringan sebesar 1,1 MW dengan efisiensi mencapai 23,4 %.
2. Pada saat keadaan normal hasil simulasi memperlihatkan daya aktif yang dikeluarkan pembangkit sebesar 807,3 MW. Maka ada selisih diantara daya aktif keseluruhan pembebanan dengan daya aktif keseluruhan pembangkit menjadi dengan rugi-rugi (*losses*) sebesar 4,77 MW

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Otniel, N. Busaeri, and S. Sutisna, "Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Penyulang 05Ee0101a Di Area Utilities Ii Pt. Pertamina (Persero) Refinery Unit Ivcilacap Menggunakan Metode Newton-Raphson," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.37058/jee.v1i1.1187.
- [2] Emmy Hosea and Yusak Tanoto, "Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton-Raphson," *J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 63–69, 2004, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/16190>

- [3] M. Putri and I. Hajar, "Overcome Voltage Drop By Uprating Conductors," *Int. J. IT Eng.*, vol. 9, no. 12, 2021, [Online]. Available: <http://ijmr.net.in>, Email: [irjmss@gmail.com](mailto:irjmss@gmail.com)
- [4] M. Putri and A. Ramadhan, "Energi Alternatif Berbasis Lower Rotation Motor Didalam Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," *Semnastek Uisu*, pp. 69–73, 2020.
- [5] H. . Muslim, *Teknik Pembangkit Listrik, Jilid I*, vol. 4, no. 1. 2016.
- [6] A. A. Sallam and O. P. Malik, "Power flow analysis," *Power System Stability: Modelling, Analysis and Control*. The McGraw-Hill Companies, New York, pp. 107–130, 2015. doi: 10.1049/pbpo076e\_ch5.
- [7] R. F. Margeritha, R. S. Hartati, and N. P. Satriya Utama, "Analisis Penyambungan Distributed Generation Guna Meminimalkan Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 3, p. 122, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i03p19.
- [8] A. Hermawan, "Analisis Terhadap Performance Sistem Tenaga Listrik Memakai Metode Aliran Daya," pp. 17–28.
- [9] M. Hasanah, S. Susilawati, and A. Ramadhan, "Performance optimization of CuO-ZnO ceramic electrode on the electrocoagulation of wastewater," *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 6, pp. 7–14, 2022, doi: 10.1016/j.mset.2022.11.001.
- [10] D. Erlian, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 Kelas 12 Prih Sumardjati dkk.* 2007. [Online]. Available: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52936035/Teknik\\_Pemanfaatan\\_Tenaga\\_Listrik\\_Jilid\\_3\\_Kelas\\_12\\_Prih\\_Sumardjati\\_dkk\\_2008-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637665874&Signature=bq7QbOZWqGB-ye1EonUWvUQYACTu-HeHhDy~F-RpVGXSqv5mM58ptH-eW-XdnRf9bkKw3xEuRNWdPWeW](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/52936035/Teknik_Pemanfaatan_Tenaga_Listrik_Jilid_3_Kelas_12_Prih_Sumardjati_dkk_2008-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637665874&Signature=bq7QbOZWqGB-ye1EonUWvUQYACTu-HeHhDy~F-RpVGXSqv5mM58ptH-eW-XdnRf9bkKw3xEuRNWdPWeW)