

METODE NUMERIK UNTUK ANALISIS KUALITAS SISTEM KELISTRIKAN BANDARA YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT

NUMERICAL METHODS FOR ANALYSIS OF THE QUALITY OF YOGYAKARTA INTERNATIONAL AIRPORT ELECTRICAL SYSTEM

Dulhadi^{1*}, Mohammad Arsyad², Shodiq Afifudin³, Eufrasia Andranetta Gracelynne Eka
Pramudita⁴, Hafiyyan Putra Pratama⁵, Dewi Indriati Hadi Putri⁶

^{1,2*}Department of Electrical Engineering, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

³Bandara Yogyakarta International Airport Kepek, Palihan, Temon, Kulon Progo, Yogyakarta 55654

⁴Department Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada

^{5,6}Department of Telecommunication System, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Veteran No.8, Nagri Kaler, Purwakarta, Jawa Barat

^{1*}email corresponding: dulhadi@itny.ac.id

²email: arsyad@itny.ac.id

³email: cahsonos@gmail.com

⁴email: eufrasia2424@gmail.com

⁴email: dewiindri@upi.edu

⁶email: hafiyyan@upi.edu

Cara sitasi: Dulhadi, Mohammad Arsyad, Shodiq Afifudin, Eufrasia Andranetta Gracelynne Eka Pramudita, Hafiyyan Putra Pratama, Dewi Indriati Hadi Putri, "Metode Numerik Untuk Analisis Kualitas Sistem Kelistrikan Bandara Yogyakarta *International Airport*", *Kurvatek*, vol. 8, no. 2, pp. 121-130, 2023. doi: 10.33579/krvtk.v8i2.4585 [Online].

Abstrak — Kualitas distribusi energi listrik secara praktis ditentukan dari *drop* tegangan dan faktor daya terstandar pada 10% < tegangan kerja nominal < 5% dan faktor daya (PF) terendah 0,85. Sistem kelistrikan Bandara *Yogyakarta International Airport* (YIA) perlu dianalisa kualitasnya karena memiliki jaringan yang rumit. Metode numerik untuk menganalisa diantaranya *Newton Raphson*, *Fast Decouple* dan *Gauss-Seidel* yang terdapat pada program simulasi Etap Versi 12.6. Tujuan penelitian ini mendapatkan metode yang tepat untuk menganalisa kualitas sistem kelistrikan Bandara YIA. Hasil simulasi 3 metode bahwa *Newton Raphson* dan *Fast Decouple* memiliki kesamaan untuk mencapai titik konvergen yaitu pada iterasi 99, indeks presisi 10^{-4} , sedangkan *Gauss-Seidel* pada iterasi 2000 dan nilai indeks presisi 10^{-6} . Hasil *running* Etap pada posisi *Newton Raphson* dan *Fast Decouple* didapatkan *drop* tegangan maksimum 2,48 % dan PF terhitung 0,947872, begitu juga pada *Gauss-Seidel*. Sehingga disimpulkan bahwa metode *Newton Raphson* atau *Fast Decouple* dapat digunakan untuk menganalisa kualitas sistem kelistrikan Bandara YIA dan kondisi saat ini kualitas sistem kelistrikan Bandara YIA masih sangat baik atau diatas pemenuhan standarisasi SPLN No.72 tahun 1987.

Kata kunci: Sistem Kelistrikan Bandara YIA, Kualitas, Metode Numerik

Abstract — The quality of electrical energy distribution is practically determined from the voltage drop and factor of standardized at 10 % of the nominal working voltage of 5 % and the lowest power factor (PF) of 0.85. The quality of the *Yogyakarta International Airport* (YIA) electrical system needs to be analyzed because it has a complicated network. Numerical methods for analysis include *Newton Raphan*, *Fast Decouple* and *Gauss – Seidel* which are found in the *Etap Version 12.6* simulation program. The aim of this research is to obtain and appropriate method for analyzing the quality of the YIA Airport electrical system. The simulation result of the 3 methods shows that *Newton Raphson*, and *Fast Decouple* have similarities in reaching the convergent point, namely at iteration 99, the precision index is 10^{-4} , while *Gauss – Sidel* is at iteration 2000 and the precision index value 10. The results of *running Etap* at the *Newton Raphson* and *fast Decouple* positions are found to drop the maximum stress is 2,48 % and calculated PF = 0.947873, as well as *Gauss – Seidel*. So, it is concluded that the *Newton – Raphson* or *Fast Decouple* method can be used to analyze the quality of the YIA Air Port

electrical system and the current condition is that the quality of the YIA Airport System is still very good or above fulfilling SPLN standardization NO. 72 of 1987.

Keywords: *YIA Airport Electrical System, Quality, Numerical Methods*

I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan Bandara *Yogyakarta International Airport (YIA)* dipasok dari PT. PLN (Persero) Unit Induk Distribusi (UID) Jawa Tengah & D.I. Yogyakarta melalui GI. Wates dengan suplai 2 penyulang (pelanggan premium). Untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik Bandara YIA ditambah pasokan daya dari pembangkit listrik tenaga Diesel (Genset) dengan masing – masing kapasitas berlangganan 2 x 8,66 MVA (PLN) dan 5 x 2,5 MVA (Genset). Jaringan distribusi tenaga listrik dan area bandara yang luas (600 Ha) dengan luas terminal 210000 M² maka untuk melayani pelanggan lebih 20 juta penumpang/bulan diperlukan kualitas distribusi energi listrik harus baik (sesuai standar PLN yaitu 10% < Tegangan normal < 5%). Agar kinerja peralatan yang terdapat pada Bandara YIA dapat bekerja secara normal.

Sistem distribusi tenaga listrik Bandara YIA memiliki sistem distribusi tegangan menengah 20 kV yang luas dan cukup rumit, sehingga kualitas tegangan dan faktor daya menjadi tuntutan penting dalam pendistribusian energi listrik. Untuk menganalisa *drop* tegangan dan faktor daya dapat terselesaikan dengan metode numerik diantaranya metode *Newton Raphson*, *Gauss – Siedel* dan *Fast Decouple*. Metode tersebut cenderung menganalisa melalui konsep perhitungan rasio perbandingan saluran distribusi (R/X). Dengan perubahan magnitud tegangan dan sudut fasa dapat terjadi seiring dengan perubahan beban. Begitu juga perubahan beban dapat berpengaruh terhadap jumlah iterasi perhitungan perbandingan antara R dan X, akan tetapi pada metode *Newton Raphson* mengengarai bahwa perubahan rasio saluran distribusi tidak mempengaruhi jumlah iterasi terkecuali pada metode *Fast Decouple* [5].

Dalam penelitian yang dilakukan ini jumlah perubahan rasio saluran distribusi tidak diperhatikan tetapi mengutamakan mendapatkan perhitungan yang konvergen karena panjang dan ukuran penghantar yang digunakan tetap dan jika terjadi perubahan pada beban dianggap tidak mempengaruhi perubahan nilai R dan X maupun frekuensi. Pada penelitian ini adalah menganalisa metode yang tepat untuk mendapatkan nilai *drop* tegangan dan faktor daya pada titik beban dengan ditentukan pembebanan beban penuh (100%) dan beban maksimal penggunaan (80%) menggunakan program aplikasi Etap versi 12.6.

II. METODE PENELITIAN

Faktor jarak pembangkit sampai ke konsumen salah satu penyebab jatuh tegangan yang cukup besar dalam sistem pendistribusian energi listrik. Begitu juga titik sambung dan penampang penghantar berkontribusi penyebab susut teknis sehingga dapat dikatakan bahwa jatuh tegangan sukar untuk direduksi. Hambatan penghantar yang besar dan dialiri arus yang besar serta jarak yang semakin jauh, maka jatuh tegangan juga menjadi besar. Dalam sistem penyaluran tenaga listrik khususnya Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV, selalu terjadi *drop* tegangan, hal ini disebabkan karena lokasi pusat beban mempunyai jarak yang jauh dari lokasi Gardu Induk [1], [2], [11].

The International Electrotechnical Commission (IEC) mengklasifikasi berbagai tipe gangguan yang mempengaruhi kualitas daya listrik. Untuk dapat menentukan masalah kualitas daya suatu sistem tenaga listrik dan menentukan metode yang paling tepat guna mengurangi masalah kualitas daya dibutuhkan pengumpulan data yang mencakup besaran arus, tegangan, kejadian, frekuensi kejadian, tempat kejadian, gangguan-gangguan dan lokasi pengukuran [3].

Dalam penyelesaian studi aliran daya banyak menggunakan metode *Gauss-Seidel* dan metode *Newton Raphson*. Metode *Newton Raphson* lebih cepat mencapai nilai konvergen sehingga proses iterasi yang berlangsung lebih sedikit atau komputasinya lebih cepat dibandingkan dengan waktu komputasi pada metoda *Gauss-Seidel* untuk indeks presisi yang sama. Dasar dari Metode *Newton Raphson* dalam penyelesaian aliran daya adalah Deret *Taylor* untuk suatu fungsi dengan dua variabel lebih. Metode *Newton Raphson* menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu persamaan *nonlinier* untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus. Metode *Newton-Rapson* banyak digunakan karena lebih efisien secara komputasi dan praktis dibandingkan metode lainnya. Perangkat lunak ETAP (*Electrical Transients and Analysis Program*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan jaringan listrik. Salah satu fitur dari *software* ini adalah untuk mensimulasikan aliran arus pada suatu sistem kelistrikan [5], [6], [8].

A. Sistem Kelistrikan Bandara Yogyakarta International Airport

Sistem kelistrikan Bandara Yogyakarta *International Airport* memiliki sistem distribusi tipe radial dengan sistem 4 kabel yang terdiri 3 fasa dan 1 netral dan sistem pentanahan yang digunakan adalah sistem *solid grounding*. Sehingga potensi *drop* tegangan dan penurunan faktor daya berpotensi tinggi dibandingkan dengan sistem jaringan tipe *loop*. Sistem penyaluran energi listrik ke beban disalurkan melalui kabel bawah tanah dengan kabel saluran utama jenis NA2XSEYBY 3 x 300 mm² dengan tegangan menengah 20 kV sampai dengan trafo distribusi sebagai trafo *step down* 20 kV menjadi 380 volt. Kunci utama dalam menjaga kualitas sistem kelistrikan adalah jika sisi tegangan menengah tidak terjadi penurunan yang signifikan (maksimal 2%), maka pada sisi jaringan distribusi tegangan rendah juga akan stabil sehingga kinerja peralatan pada Bandara YIA bekerja dengan *performance* yang tinggi.

Pengertian kualitas sistem kelistrikan dalam operasi sistem tenaga listrik diukur dengan kualitas tegangan, faktor daya dan frekuensi yang dijaga sedemikian rupa sehingga tetap pada kisaran yang ditetapkan berdasarkan standar SPLN No.72 tahun 1987 10% < Tegangan normal < 5%, sedangkan frekwensi 1% < Standar Frekuensi < 1% dari frekuensi yang berlaku di Indonesia yaitu 50 Hz [4]. *Drop* tegangan merupakan selisih antara tegangan sumber dan tegangan pada ujung penerima dan terpengaruhi oleh perubahan impedansi dan admitansi saluran dan beban serta faktor daya [6].

B. Konsep Dasar Aliran Daya

Aliran daya merupakan suatu operasi hitung untuk mendapatkan besaran nilai arus, tegangan dan daya baik aktif maupun reaktif dalam suatu sistem tenaga listrik saat kondisi beroperasi normal. Selain berfungsi sebagai analisa sistem tenaga dalam operasi hitung, aliran daya juga digunakan untuk menganalisa kondisi atau keadaan penyaluran tenaga listrik. Berbagai penerapan metode untuk analisa aliran daya diantaranya : Metode Newton – Rahson, Gauss – Siedel, Fast Decouple dan lain sebagainya.

1. Metode *Newthon-Rapshon*

Metode *Newton-Raphson* adalah metode untuk melihat aliran daya dengan memisahkan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) menggunakan parameter sudut dan *magnitude* untuk memisahkan nilai *real* dan *imaginer*, sehingga bentuknya akan *hybrid* dalam bentuk matrik jacobian yang *diinvers* dengan menggunakan dekomposisi LU dalam bentuk persamaan 1 [6], [7].

$$\begin{bmatrix} \Delta\theta \\ \Delta|V| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} x \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (1)$$

Hasil perkalian yang diperoleh selanjutnya dipisah-pisah. Perbedaan nilai sudut fasa dan *magnitude* tegangan tiap bus antara yang lama dengan yang baru selanjutnya dibandingkan dengan nilai ketelitian yang telah ditentukan, jika nilai ketelitian belum tercapai maka iterasi diulangi dari awal sampai ketelitian terpenuhi dan konvergensi tercapai [9].

Didalam operasi aliran daya pada Etap untuk menghitung kecukupan daya terlebih dahulu dihitung menggunakan persamaan 2.

$$S = P + jQ \text{ atau } S = V \times I \quad (2)$$

Nilai *I* di dalam persamaan terinjeksi sehingga nilai *I* harus lebih disederhanakan pada persamaan 3.

$$I = \frac{P}{z} \quad (3)$$

Nilai *Y* tersebut berasal dari konfigurasi pada sistem sehingga nilai *I* menjadi seperti persamaan 4.

$$I = v \sum y - \sum xy \quad (4)$$

2. Metode *Gauss – Seidel*

Dalam analisa aliran daya terdapat bus-bus yang menyusun sebuah sistem tenaga listrik, dan dikenal tiga tipe bus, yaitu bus P – Q atau bus beban, bus P – V disebut bus generator/ pembangkit, bus berayun (*swing*) atau bus penadah (*slack*). Aplikasi Hukum arus *Kirchoff* pada bus dapat diberikan pada persamaan 5[12]:

$$\begin{aligned} I_i &= y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \\ &= (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - (y_{i1}V_1) - (y_{i2}V_2) - (y_{in}V_n) \end{aligned} \quad (5)$$

atau

$$I_i V_i \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad (6)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus *i* adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i \cdot I_i^* \quad (7)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (8)$$

Dari persamaan 5 dan 8, diperoleh persamaan 9:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j, j \neq i \quad (9)$$

Hubungan formulasi persamaan 7, 8 dan 9 dalam penyelesaian V_i secara iterasi menghasilkan persamaan 10 sebagai berikut [10]:

$$V_i^{(k+1)} = \frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch} - \sum Y_{ij} V_j^{(k)}}{\sum Y_{ij}}, j \neq i \quad (10)$$

Sehingga daya aktif dan reaktif (P_i^{sch} dan Q_i^{sch}) didapatkan sebagai berikut [16]:

$$P_i^{(k+1)} = R\{V_i^{*(k)}[V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j^{(k)}]\}, j \neq 1 \quad (11)$$

dan

$$Q_i^{(k+1)} = -I_m\{V_i^{*(k)}[V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot V_j^{(k)}]\}, j \neq 1 \quad (12)$$

3. Metode *Fast Decouple*

Pembentukan matrik *Jacobian* dalam metoda *Fast Decouple* ini ada perbedaan dibandingkan matrik *Jacobian* pada metoda *Decouple*. Perbedaan ini timbul karena [8]:

- Perbandingan RX saluran cukup tinggi sehingga nilai $G_{ij} \sin \delta_{ij} < B_{ij}$.
- Perbedaan sudut fasa tegangan tiap bus cukup kecil sehingga $\sin \delta_{ij} = \sin(\delta_i - \delta_j) \cong \delta_i - \delta_j$ dan $\cos \delta_{ij} = \cos(\delta_i - \delta_j) \cong 1$
- Nilai daya reaktif tiap bus Q_i selalu lebih kecil dari nilai $B_{ii} V_i^2$ dapat disederhanakan menjadi

$$[\Delta P] = [V \cdot B^* \cdot V][\Delta \delta] \quad (13)$$

$$[\Delta Q] = [V \cdot B^* \cdot V] \left[\frac{\Delta |V|}{|V|} \right] \quad (14)$$

dimana elemen-elemen matrik B^* dan B'' adalah elemen matrik B dengan rumusan sebagai berikut :

$$B_{ij}^* = -\frac{1}{x_{ij}} i \neq j \quad (15)$$

$$B_{ij}^* = \sum_{j=1}^n \frac{1}{x_{ij}} i \neq j \quad (16)$$

$$B_{ij}^* = -B_{ij} \quad (17)$$

persamaan 13 dan 14 menjadi

$$\left[\frac{\Delta P}{V} \right] = [B^*][\Delta \delta] \quad (18)$$

$$\left[\frac{\Delta Q}{V} \right] = [B^*][\Delta V] \quad (19)$$

sehingga dalam perhitungan selanjutnya diperoleh

$$[\Delta \delta] = [B^*]^{-1} \left[\frac{\Delta P}{V} \right] \quad (20)$$

$$[\Delta V] = [B^*]^{-1} \left[\frac{\Delta Q}{V} \right] \quad (21)$$

Persamaan 20 atau 21 ini dikenal sebagai *Fast Decouple Load Flow*. Perbedaan nilai sudut fasa dan magnitude tegangan tiap bus antara yang lama dengan yang baru selanjutnya dibandingkan dengan nilai ketelitian yang telah ditentukan. Jika nilai ketelitian belum tercapai maka iterasi diulangi dari awal sampai ketelitian terpenuhi dan konvergensi tercapai [4]. Setelah nilai ketelitian terpenuhi dan konvergensi tercapai untuk 3 (tiga) metoda tersebut kemudian dihitung daya pada Slack Bus. Adapun rumus yang digunakan adalah

$$P_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \cos(\delta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (22)$$

$$Q_i = \sum_{n=1}^N |Y_{in} V_i V_n| \sin(\delta_{in} + \delta_n - \delta_i) \quad (23)$$

Aliran daya antara bus dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_{ij} = V_i (V_{ij}^* Y_{ij}^* + V_i^* Y^* c_{ij}) \quad (24)$$

$$P_{ij} - jQ_{ij} = V_i^* (V_i - V_j) Y_{ij} + V_i^* V_i Y C_{ij} \quad (25)$$

Rugi-rugi daya antar bus dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_{ij}(\text{losses}) = S_{ij} + S_{ji} \quad (26)$$

4. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan adalah data yang tertera pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Sumber daya PLN (Power Grid)

NO	ID GRID/ SUMBER DAYA	SPESIFIKASI	
1.	PLN GI. Wates 20 MVA(GRID 1) GI – WATES -1	Tegangan	150 kV
		Kapasitas Trafo	60 MVA
		Kap. Langgan	8,66 MVA
		Frekuensi	50 Hz
2.	PLN GI Wates 60 MVA(GRID 2) GI – WATES - 2	Tegangan	150 kV
		Kapasitas Trafo	60 MVA
		Kap. Langgan	8,66 MVA
		Frekuensi	50 Hz

Sumber : PT. PLN (Persero) ULP. Wates, 2022

Tabel 2. Sumber Daya Genset (Power Grid)

NO	ID GRID/ SUMBER DAYA	SPESIFIKASI	
1.	Genset 2500 KVA(Gen-1)	Tegangan	0,4/0,23 kV
		Kapasitas Genset	2,5 MVA
		Frekuensi	50 Hz
2.	Genset 2500 KVA(Gen-2)	Tegangan	0,4/0,23 kV
		Kapasitas Genset	2,5 MVA
		Frekuensi	50 Hz
3.	Genset 2500 KVA(Gen-3)	Tegangan	0,4/0,23 kV
		Kapasitas Genset	2,5 MVA
		Frekuensi	50 Hz
4.	Genset 2500 KVA(Gen-4)	Tegangan	0,4/0,23 kV
		Kapasitas Genset	2,5 MVA
		Frekuensi	50 Hz
5.	Genset 2500 KVA(Gen-5)	Tegangan	0,4/0,23 kV
		Kapasitas Genset	2,5 MVA
		Frekuensi	50 Hz

Sumber : Devisi Teknik, Bandara YIA, 2022

Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit ke beban disalurkan melalui kabel bawah tanah NA2XSEYBY ke seluruh trafo distribusi untuk memberi sumber listrik ke bagian sistem tegangan rendah (Panel) seperti diberikan pada Tabel 3. Jenis dan ukuran kabel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4. Sementara, kapasitas beban maksimal diberikan pada Tabel 5.

Tabel 3. Trafo Distribusi Bandara YIA

No	ID Trafo Distribusi	Tegangan Primer/Sekunder	Rating Daya	No	ID Trafo Distribusi	Tegangan Primer/Sekunder	Rating Daya
1.	(3.1)-T-3-MPH	20/0,4 KV	1250 KVA	17.	(11.3)-T-SS-3.6	20/0,4 KV	2000 KVA
2.	(3.2)-T-3-MPH	20/0,4 KV	1250 KVA	18.	(12.1)-T-SS-BHS	20/0,4 KV	630 KVA
3.	(6.1)-T-SS-3.1	20/0,4 KV	3000 KVA	19.	(12.2)-T-SS-BHS	20/0,4 KV	630 KVA
4.	(6.2)-T-SS-3.1	20/0,4 KV	3000 KVA	20.	(13.1)-T-SS-3.7	20/0,4 KV	2000 KVA
5.	(6.3)-T-SS-3.1	20/0,4 KV	3000 KVA	21.	(13.2)-T-SS-3.7	20/0,4 KV	2000 KVA
6.	(7.1)-T-SS-3.2	20/0,4 KV	1250 KVA	22.	(13.3)-T-SS-3.7	20/0,4 KV	1600 KVA
7.	(7.2)-T-SS-3.2	20/0,4 KV	1250 KVA	23.	(14.1)-T-SS.MHZ	20/0,4 KV	315 KVA
8.	(8.1)-T-SS-3.3	20/0,4 KV	1250 KVA	24.	(15.1)-T-SS-3.8	20/0,4 KV	1250 KVA
9.	(8.2)-T-SS-3.3	20/0,4 KV	1250 KVA	25.	(15.2)-T-SS-3.8	20/0,4 KV	1250 KVA
10.	(9.1)-T-SS-3.4	20/0,4 KV	1250 KVA	26.	(16.1)-T-SS-3.9	20/0,4 KV	1600 KVA
11.	(9.2)-T-SS-3.4	20/0,4 KV	1250 KVA	27.	(16.2)-T-SS-3.9	20/0,4 KV	1600 KVA
12.	(10.1)-T-SS-3.5	20/0,4 KV	1600 KVA	28.	(17.1)-T-SS-3.10	20/0,4 KV	1250 KVA
13.	(10.2)-T-SS-3.5	20/0,4 KV	2000 KVA	29.	(17.2)-T-SS-3.10	20/0,4 KV	1250 KVA
14.	(10.3)-T-SS-3.5	20/0,4 KV	2000 KVA	30.	(18)-T-SS-3.11	20/0,4 KV	315 KVA
15.	(11.1)-T-SS-3.6	20/0,4 KV	1600 KVA	31.	(19.1)-T-SS-3.A1	20/0,4 KV	315 KVA
16.	(11.2)-T-SS-3.6	20/0,4 KV	2000 KVA	32.	(20.1)-T-SS-3.A2	20/0,4 KV	315 KVA
Total							46,52 MVA

Sumber : Devisi Teknik, Bandara YIA, 2022

Tabel 4. Ukuran kabel yang digunakan Bandara YIA

No	Distribusi Kabel	Jenis Kabel 20 KV, 3 x 300 mm ²	Panjang (m)	No	Distribusi Kabel	Jenis Kabel 20 KV 3 x 300 mm ²	Panjang (m)
0	Trafo 60 MVA ke MVMDP-PLN	NA2XSEYBY	5700	16	MVMDP -3 ke MVMDP -3.7	NA2XSEYBY	1101
1	Trafo 20 MVA ke MVMDP-PLN	NA2XSEYBY	5700	17	MVMDP -3 ke MVMDP -3.5	NA2XSEYBY	989,8
2	Gen-1 ke MVMDP -2	NA2XSEYBY	49,8	18	MVMDP -3 ke MVMDP -3.3	NA2XSEYBY	701,6
3	Gen-2 ke MVMDP -2	NA2XSEYBY	53	19	MVMDP -3.4 ke MVMDP -3.11	NA2XSEYBY	977
4	Gen-3 ke MVMDP -2	NA2XSEYBY	78,2	20	MVMDP -3.8 ke MVMDP -3.4	NA2XSEYBY	529,6
5	Gen-4 ke MVMDP -2	NA2XSEYBY	76,8	21	MVMDP -3.7 ke MVMDP -3.9	NA2XSEYBY	1097

No	Distribusi Kabel	Jenis Kabel 20 KV, 3 x 300 mm ²	Panjang (m)	No	Distribusi Kabel	Jenis Kabel 20 KV, 3 x 300 mm ²	Panjang (m)
6	Gen-5 ke MVMDP -2	NA2XSEYBY	83,5	22	MVMDP -3.7 ke MVMDP - H.MZ	NA2XSEYBY	1332
7	MVMDP -2 ke ACTS-1	NA2XSEYBY	36,8	23	MVMDP -3.7 ke MVMDP -3.6	NA2XSEYBY	378,8
8	MVMDP -2 ke ACTS-2	NA2XSEYBY	32,1	24	MVMDP -3.9 ke MVMDP -3.10	NA2XSEYBY	681
9	MVMDP -PLN ke MVMDP-1	NA2XSEYBY	50	25	MVMDP -3.10 ke MVMDP - 3.A2	NA2XSEYBY	2131
10	MVMDP -1 ke ACTS-1	NA2XSEYBY	40,6	26	MVMDP -3.10 ke MVMDP -3.6	NA2XSEYBY	50
11	MVMDP -1 ke ACTS-2	NA2XSEYBY	34,8	27	MVMDP -3.5 ke MVMDP -3.6	NA2XSEYBY	380,8
12	ACTS-1 ke MVMDP -3	NA2XSEYBY	37,4	28	MVMDP -3.6 ke MVMDP - BHS	NA2XSEYBY	241,2
13	ACTS-2 ke MVMDP -3	NA2XSEYBY	32,1	29	MVMDP -3.3 ke MVMDP - 3.A1	NA2XSEYBY	1599
14	MVMDP -3 ke MVMDP -3.4	NA2XSEYBY	849,7	30	MVMDP -3.3 ke MVMDP -3.2	NA2XSEYBY	701,6
15	MVMDP -3 ke MVMDP -3.8	NA2XSEYBY	1322	31	MVMDP -3.2 ke MVMDP -3.1	NA2XSEYBY	478,8

Sumber: *Devisi Teknik, Bandara YIA, 2022*

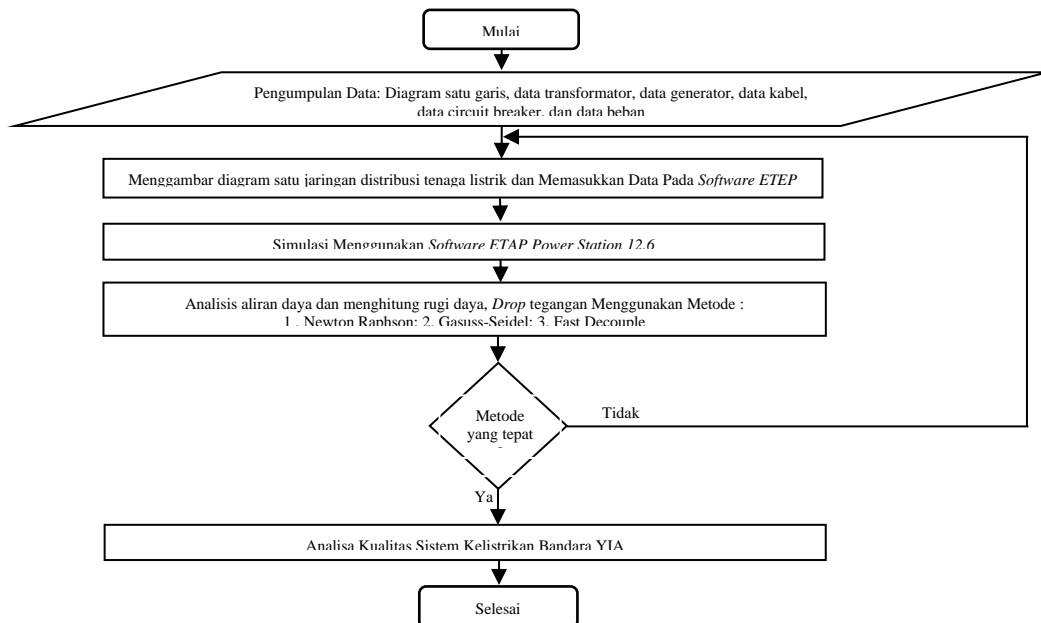
Tabel 5 Data kapasitas beban

No	Panel Distribusi	Kapasitas maksimal Beban listrik (KVA)	No	Panel Distribusi	Kapasitas maksimal Beban listrik (KVA)
1	Main Power House	569	17	Pertamina	1290
2	Ground Water Tank	194	18	Baggage Handling Sistem 1	400
3	Keberangkatan Domestik L3	2524	19	Baggage Handling Sistem 2	400
4	Lantai Baseman	594	20	Kedatangan Inter L1	1268
5	Keberangkatan Inter L3	2462	21	Apron	858
6	Cargo	665	22	Kedatangan Domestik L1	1352
7	Crisis Center	565	23	Mezzanine	298
8	Alat-alat Berat	429	24	Breakdown Domestik	878
9	Fire Station 1	461	25	Breakdown Internasional	285
10	Toll Gate	371	26	Mark Up Domestik	940
11	Parkir	864	27	Mark Up Internasional	640
12	BMKG	1687	28	Airnav 1	306
13	Fire Station 2	870	29	Airnav 2	77
14	Perkantoran	1481	30	KAI	200
15	Garbarata Internasional	1252	31	Runway	200
16	Garbarata Domestik	1271	32	Taxiway	200

Sumber : *Devisi Teknik, Bandara YIA, 2022*

C. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian adalah cara melakukan penelitian digambarkan seperti terlihat pada Gambar 1, yang diawali dari membuat single line diagram, entry data, proses dan analisis serta yang terakhir kesimpulan.

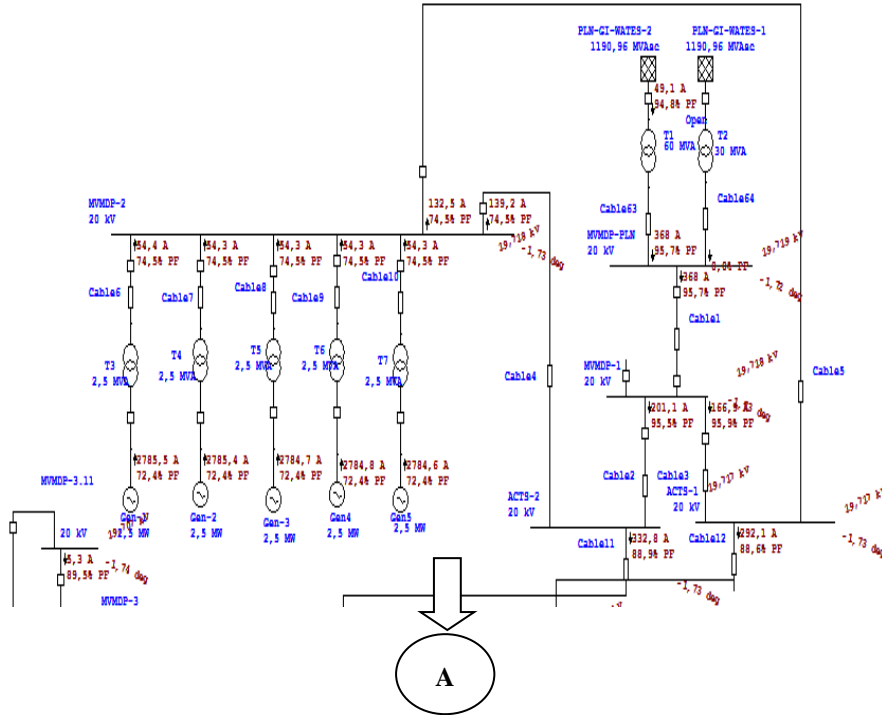


Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

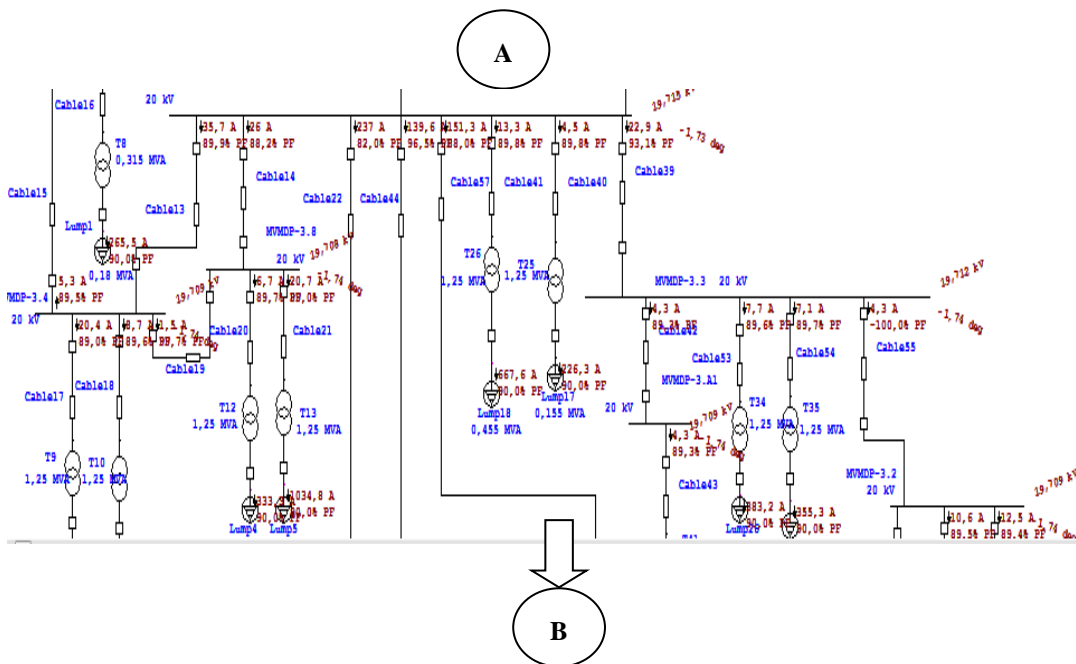
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Analisa Perhitungan Menggunakan Program Etap

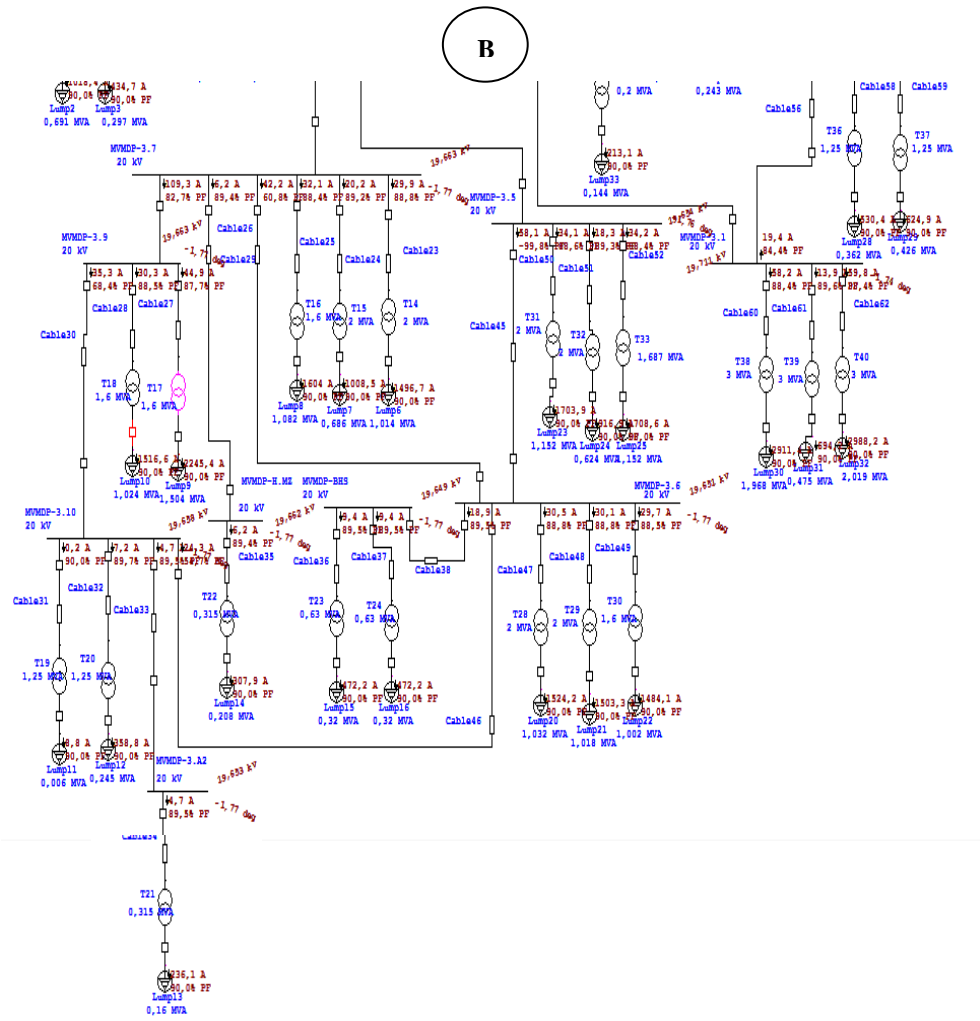
Dalam proses penyelesaian perhitungan menggunakan program aplikasi Etap versi 12.6 yang pertama membuat single line diagram dilanjutkan *entry data*. Selanjutnya dilakukan *running program* pada kondisi beban 100% dengan metode *Newton Raphson*, *Gauss-Seidel* dan *Fast Decouple* dan hasilnya disimpan, berikutnya merubah beban menjadi 80% dan hasilnya tersimpan. Melakukan analisa dan terakhir menyimpulkan hasil *running* tiga metode pada kondisi beban masing – masing 100% dan 80 %. Single diagram yang di-*running* diberikan pada Gambar 2a, 2b dan 2c.



Gambar 2a. Potongan 1 Hasil running program Etap



Gambar 2b. Potongan 2 Hasil running program Etap



Gambar 2c. Potongan 3 Hasil running program Etap

Tabel 6. Hasil operasi perhitungan 3 metode pada beban 100%

Slack Bus	Tegangan Nominal (kV)	Tegangan Slack Bus (kV)	Tegangan Slack Bus (%)	Drop Tegangan (%)	Newton - Raphson		Gauss - Seidel		Fast Decouple	
					Tegangan Slack Bus (kV)	Tegangan Slack Bus (%)	Tegangan Slack Bus (kV)	Tegangan Slack Bus (%)	Tegangan Slack Bus (kV)	Tegangan Slack Bus (%)
ACTS-1	20	19.586	97.93	2.07	20	100	0	19.586	97.93	2.07
ACTS-2	20	19.586	97.93	2.07	20	100	0	19.586	97.93	2.07
MVMDP-1	20	19.588	97.94	2.06	20	100	0	19.588	97.94	2.06
MVMDP-2	20	19.588	97.94	2.06	20	100	0	19.588	97.94	2.06
MVMDP-3	20	19.584	97.92	2.08	19.998	99.99	0.01	19.584	97.92	2.08
MVMDP-3.1	20	19.578	97.89	2.11	19.994	99.97	0.03	19.578	97.89	2.11
MVMDP-3.2	20	19.576	97.88	2.12	19.994	99.97	0.03	19.576	97.88	2.12
MVMDP-3.3	20	19.58	97.9	2.1	19.998	99.99	0.01	19.58	97.9	2.1
MVMDP-3.4	20	19.574	97.87	2.13	19.996	99.98	0.02	19.574	97.87	2.13
MVMDP-3.5	20	19.51	97.55	2.45	19.988	99.94	0.06	19.51	97.55	2.45
MVMDP-3.6	20	19.506	97.53	2.47	19.988	99.94	0.06	19.506	97.53	2.47
MVMDP-3.7	20	19.52	97.6	2.4	19.988	99.94	0.06	19.52	97.6	2.4
MVMDP-3.8	20	19.574	97.87	2.13	19.994	99.97	0.03	19.574	97.87	2.13
MVMDP-3.9	20	19.52	97.6	2.4	19.988	99.94	0.06	19.52	97.6	2.4
MVMDP-3.10	20	19.514	97.57	2.43	19.994	99.97	0.03	19.514	97.57	2.43
MVMDP-3.11	20	19.572	97.86	2.14	19.996	99.98	0.02	19.572	97.86	2.14
MVMDP-3.A1	20	19.576	97.88	2.12	19.998	99.99	0.01	19.576	97.88	2.12
MVMDP-3.A2	20	19.508	97.54	2.46	19.998	99.99	0.01	19.508	97.54	2.46
MVMDP-BHS	20	19.504	97.52	2.48	19.99	99.95	0.05	19.504	97.52	2.48
MVMDP-H.MZ	20	19.518	97.59	2.41	19.99	99.95	0.05	19.518	97.59	2.41
MVMDP-PLN	20	19.588	97.94	2.06	20	100	0	19.588	97.94	2.06

Tabel 7. Hasil operasi perhitungan 3 metode pada beban 80%

<i>Slack Bus</i>	<i>Tegangan Nominal (kV)</i>	<i>Tegangan SlackBus (kV)</i>	<i>Tegangan SlackBus (%)</i>	<i>Drop Tegangan (%)</i>
<i>Newton - Raphson</i>				
ACTS-1	20	19.718	98.59	1.41
ACTS-2	20	19.716	98.58	1.42
MVMDP-1	20	19.718	98.59	1.41
MVMDP-2	20	19.718	98.59	1.41
MVMDP-3	20	19.714	98.57	1.43
MVMDP-3.1	20	19.71	98.55	1.45
MVMDP-3.2	20	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.3	20	19.712	98.56	1.44
MVMDP-3.4	20	19.71	98.55	1.45
MVMDP-3.5	20	19.654	98.27	1.73
MVMDP-3.6	20	19.652	98.26	1.74
MVMDP-3.7	20	19.662	98.31	1.69
MVMDP-3.8	20	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.9	20	19.662	98.31	1.69
MVMDP-3.10	20	19.658	98.29	1.71
MVMDP-3.11	20	19.706	98.53	1.47
MVMDP-3.A1	20	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.A2	20	19.654	98.27	1.73
MVMDP-BHS	20	19.65	98.25	1.75
MVMDP-H.MZ	20	19.662	98.31	1.69
MVMDP - PLN	20	19.72	98.6	1.4

Tabel 7(b). Hasil operasi perhitungan 3 metode pada beban 80%

<i>Slack Bus</i>	<i>Tegangan Nominal (kV)</i>	<i>Tegangan Slack Bus (kV)</i>	<i>Tegangan Slack Bus (%)</i>	<i>Drop Tegangan (%)</i>	<i>Tegangan SlackBus (KV)</i>	<i>Tegangan SlackBus (%)</i>	<i>Drop Tegangan (%)</i>
<i>Gauss - Seidel</i>							
<i>Fast Decouple</i>							
ACTS-1	20	20	100	0	19.718	98.59	1.41
ACTS-2	20	20	100	0	19.716	98.58	1.42
MVMDP-1	20	20	100	0	19.718	98.59	1.41
MVMDP-2	20	20	100	0	19.718	98.59	1.41
MVMDP-3	20	20	100	0	19.714	98.57	1.43
MVMDP-3.1	20	19.996	99.98	0.02	19.71	98.55	1.45
MVMDP-3.2	20	19.996	99.98	0.02	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.3	20	19.998	99.99	0.01	19.712	98.56	1.44
MVMDP-3.4	20	19.996	99.98	0.02	19.71	98.55	1.45
MVMDP-3.5	20	19.99	99.95	0.05	19.654	98.27	1.73
MVMDP-3.6	20	19.992	99.96	0.04	19.652	98.26	1.74
MVMDP-3.7	20	19.992	99.96	0.04	19.662	98.31	1.69
MVMDP-3.8	20	19.996	99.98	0.02	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.9	20	19.992	99.96	0.04	19.662	98.31	1.69
MVMDP-3.10	20	19.994	99.97	0.03	19.658	98.29	1.71
MVMDP-3.11	20	19.998	99.99	0.01	19.706	98.53	1.47
MVMDP-3.A1	20	19.998	99.99	0.01	19.708	98.54	1.46
MVMDP-3.A2	20	19.998	99.99	0.01	19.654	98.27	1.73
MVMDP-BHS	20	19.994	99.97	0.03	19.65	98.25	1.75
MVMDP-H.MZ	20	19.994	99.97	0.03	19.662	98.31	1.69
MVMDP - PLN	20	20	100	0	19.72	98.6	1.4

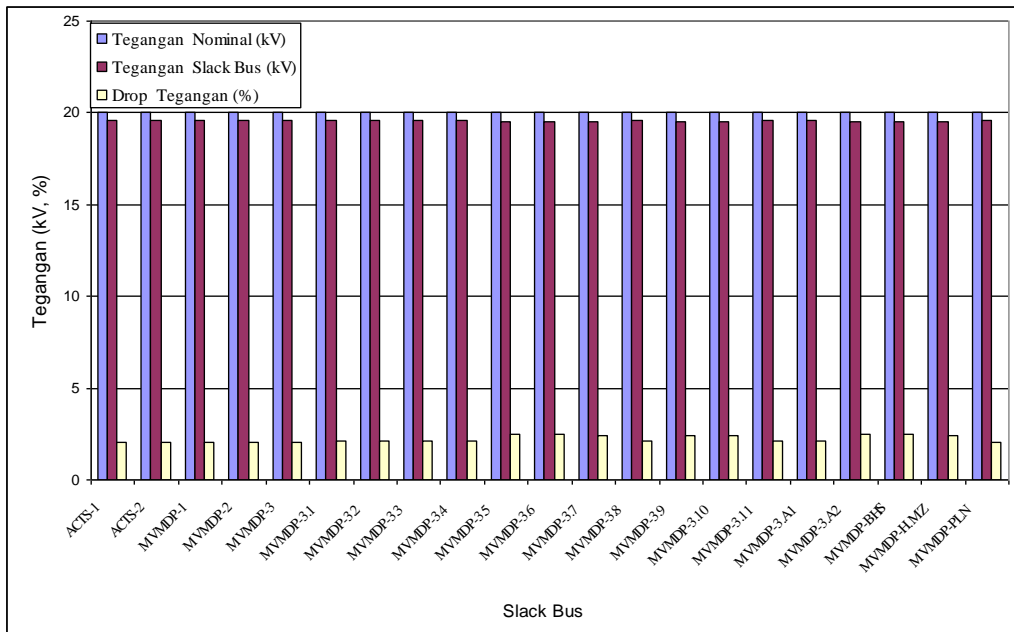
Tabel 8. Hasil penyelesaian aliran daya menggunakan program Etap 12.6

<i>ID</i>	<i>MW Flow</i>	<i>Mvar Flow</i>	<i>Amp Flow</i>	<i>% PF</i>	<i>Newton - Raphson</i>				<i>Gauss - Seidel</i>				<i>Fast Decouple</i>							
					<i>MW Flow</i>	<i>Mvar Flow</i>	<i>Amp Flow</i>	<i>% PF</i>	<i>MW Flow</i>	<i>Mvar Flow</i>	<i>Amp Flow</i>	<i>% PF</i>	<i>MW Flow</i>	<i>Mvar Flow</i>	<i>Amp Flow</i>	<i>% PF</i>				
T1	12,083	4,062	49,07	94,79	0,023	-0,002	0,66	-99,67	12,083	4,062	49,07	94,79	0,001	0,001	0,006	80,94	0	0	0	0
T2	0	0	0	0	0,001	0,001	0,006	80,94	0	0	0	0	0,001	0,001	0,006	80,94	0	0	0	0
T3	1,398	1,331	2785	72,43	0,163	0,961	1406	16,74	1,398	1,331	2785	72,43	0,163	0,961	1406	16,74	1,398	1,331	2785	72,43
T4	1,398	1,33	2785	72,43	0,163	0,961	1406	16,74	1,398	1,33	2785	72,43	0,163	0,961	1406	16,74	1,398	1,33	2785	72,43

ID	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF	MW Flow	Mvar Flow	Amp Flow	% PF
	Newton - Raphson				Gauss - Seidel				Fast Decouple			
T5	1,398	1,33	2785	72,44	0,163	0,96	1406	16,76	1,398	1,33	2785	72,44
T6	1,398	1,33	2785	72,44	0,163	0,96	1406	16,75	1,398	1,33	2785	72,44
T7	1,398	1,33	2785	72,44	0,163	0,96	1406	16,76	1,398	1,33	2785	72,44
T8	0,162	0,081	5,31	89,47	0,163	0,081	5,26	89,47	0,162	0,081	5,31	89,47
T9	0,619	0,316	20,37	89,05	0,622	0,318	20,18	89,06	0,619	0,316	20,37	89,05
T10	0,266	0,132	8,694	89,6	0,267	0,133	8,616	89,6	0,266	0,132	8,694	89,6
T12	0,204	0,101	6,666	89,69	0,205	0,101	6,608	89,69	0,204	0,101	6,666	89,69
T13	0,629	0,322	20,7	89,03	0,632	0,323	20,5	89,04	0,629	0,322	20,7	89,03
T14	0,905	0,469	29,93	88,79	0,911	0,472	29,62	88,8	0,905	0,469	29,93	88,79
T15	0,613	0,311	20,17	89,2	0,617	0,313	19,96	89,19	0,613	0,311	20,17	89,2
T16	0,965	0,511	32,08	88,37	0,971	0,514	31,73	88,39	0,965	0,511	32,08	88,37
T17	1,341	0,735	44,91	87,69	1,349	0,738	44,4	87,72	1,341	0,735	44,91	87,69
T18	0,914	0,482	30,33	88,46	0,919	0,484	30,01	88,48	0,914	0,482	30,33	88,46
T19	0,005	0,003	0,175	89,99	0,005	0,002	0,163	93,48	0,005	0,003	0,175	89,99
T20	0,219	0,108	7,177	89,67	0,221	0,109	7,104	89,63	0,219	0,108	7,177	89,67
T21	0,144	0,072	4,721	89,53	0,145	0,072	4,669	89,53	0,144	0,072	4,721	89,53
T22	0,187	0,094	6,158	89,38	0,189	0,095	6,093	89,38	0,187	0,094	6,158	89,38
T23	0,288	0,143	9,444	89,53	0,29	0,144	9,344	89,52	0,288	0,143	9,444	89,53
T24	0,288	0,143	9,444	89,53	0,29	0,144	9,343	89,52	0,288	0,143	9,444	89,53
T25	0,139	0,068	4,525	89,79	0,14	0,068	4,487	89,79	0,139	0,068	4,525	89,79
T26	0,408	0,204	13,35	89,38	0,41	0,205	13,23	89,39	0,408	0,204	13,35	89,38
T28	0,921	0,478	30,48	88,77	0,927	0,48	30,15	88,78	0,921	0,478	30,48	88,77
T29	0,909	0,471	30,07	88,79	0,914	0,474	29,74	88,8	0,909	0,471	30,07	88,79
T30	0,894	0,47	29,68	88,5	0,9	0,473	29,35	88,51	0,894	0,47	29,68	88,5
T31	1,028	0,537	34,08	88,62	1,034	0,54	33,71	88,63	1,028	0,537	34,08	88,62
T32	0,557	0,281	18,34	89,27	0,561	0,283	18,15	89,26	0,557	0,281	18,34	89,27
T33	1,028	0,545	34,17	88,35	1,034	0,548	33,79	88,37	1,028	0,545	34,17	88,35
T34	0,235	0,116	7,664	89,65	0,236	0,117	7,596	89,65	0,235	0,116	7,664	89,65
T35	0,218	0,107	7,106	89,67	0,219	0,108	7,043	89,67	0,218	0,107	7,106	89,67
T36	0,324	0,161	10,61	89,51	0,326	0,162	10,52	89,51	0,324	0,161	10,61	89,51
T37	0,381	0,191	12,5	89,42	0,384	0,192	12,39	89,42	0,381	0,191	12,5	89,42
T38	1,758	0,928	58,23	88,43	1,767	0,932	57,68	88,45	1,758	0,928	58,23	88,43
T39	0,425	0,21	13,88	89,64	0,427	0,211	13,76	89,64	0,425	0,21	13,88	89,64
T40	1,803	0,954	59,76	88,39	1,812	0,958	59,2	88,41	1,803	0,954	59,76	88,39
T41	0,13	0,065	4,263	89,33	0,131	0,066	4,222	89,34	0,13	0,065	4,263	89,33

B. Pembahasan

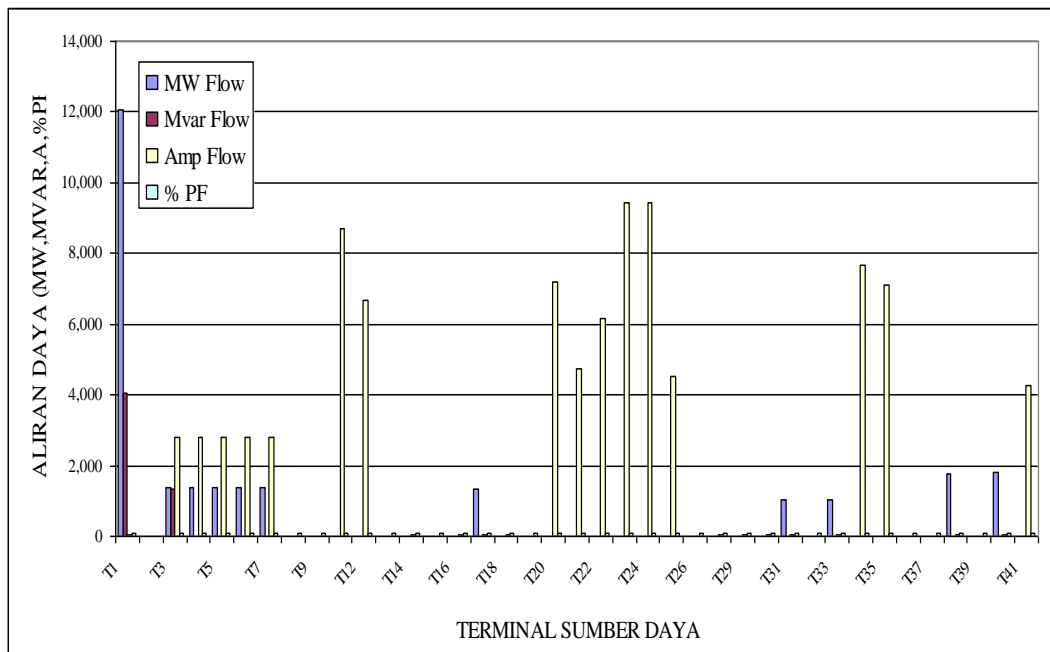
Berdasarkan hasil operasi perhitungan 3 metode besaran *drop* tegangan hasil *running* aliran daya didapatkan tegangan tertinggi pada jaringan distribusi Bandara YIA sebesar 2,48% dan profil tegangan pada sistem kelistrikan Bandara YIA terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil tegangan Bandara Yogyakarta International Airport

Pada Gambar 3 terlihat bahwa metode *Fast Decouple* dan *Newton Raphson* dapat menyelesaikan perhitungan *drop* tegangan maupun faktor daya dalam waktu komputasi yang sama cepatnya yaitu dengan indeks presisi 10^{-4} dan komputasi 99 iterasi menghasilkan titik konvergen. Sedangkan metode *Gauss-Seidel* menghasilkan titik konvergen pada komputasi 2000 iterasi dan indeks presisi 10^{-6} . Hasil *running* aliran daya terdapat nilai faktor daya dibawah 0,85 terdiri pada penggunaan metode *Fast Decouple* dan *Newton Raphson* memiliki kesamaan lokasi beban sejumlah 5 lokasi beban. Sedangkan metode *Gauss-Seidel* didapatkan 7 lokasi beban.

Profil aliran daya nyata (MW), daya reaktif (MVAR), Aliran arus (A) dan faktor daya (%) pada sistem kelistrikan Bandara Yogyakarta *International Airport* menunjukkan bahwa aliran daya tersebut menghasilkan mayoritas besaran faktor daya memenuhi persyaratan, secara perhitungan dengan daya aktif 12,083 MW dan daya reaktif 4,062 MVAR menghasilkan nilai faktor daya 0.947872 seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Profil aliran daya sistem kelistrikan Bandara Yogyakarta *International Airport*

IV. KESIMPULAN

Metode *Newton Raphson* dan *Fast Decouple* memiliki kesederhanaan implementasi dan efisien dibanding dengan metode *Gauss-Seidel* dalam perhitungan *drop* tegangan maupun faktor daya. Hasil perhitungan didapat *drop* tegangan tertinggi 2,48% dengan PF sebesar 0.947872. Proses penyelesaian metode *Newton Raphson* dan *Fast Decouple* memiliki kesamaan pada 99 iterasi dengan indeks presisi 10^{-4} , sedangkan pada metode *Gauss-Seidel* pada 2000 iterasi, indeks presisi 10^{-6} lebih lama dibandingkan metode *Newton Raphson* dan *Fast Decouple*. Dengan hasil perhitungan menggunakan program simulasi Etap versi 12.6, maka dapat dikatakan kondisi sistem kelistrikan Bandara YIA saat ini sangat baik yaitu memenuhi standar SPLN No.72 tahun 1987.

Penggunaan program simulasi Etap metode *Gauss-Seidel* tidak disarankan untuk menganalisa jaringan distribusi yang sangat rumit karena penyelesaian metode *Gauss-Seidel* dapat menganalisa sampai ketitik beban terakhir dengan detail. Metode *Gauss-Seidel* dapat pada jaringan distribusi yang rumit dengan cara membuat jaringan sederhana yang baru menggunakan penyederhanaan thevenin dan sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Andang Purnomo Putro, Karnoto, and Bambang Winardi, "Analisis Tegangan Jatuh Sistem Distribusi Listrik Kabupaten Pelalawan Dengan Menggunakan Etap 7.5.0," *Transient*, Vol.4, No. 1, Maret 2015, Issn: 2302-9927, 123.

- [2]. Hamles L. Latupeirissa, Halamoan M. Muskita, Critter A, Leihitu, “Analisis Kerugian Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR) 380/220 Volt Gardu Distribusi Politeknik Negeri Ambon,” *Jurnal Simetrik* Vol.8, No.1, Juni 2018
- [3]. Hendra Marta Yudha, “Kualitas Daya Listrik Pengaruh Dan Penanganannya, *Jurnal Desiminasi Teknologi*,” Volume 5, Nomor 1, Januari 2017, p. ISSN : 2303-212X; E- ISSN : 2503-5398.
- [4]. Hendy Jadi Ate, Gabriel Sumampouw, Misbahul Munir, Heri Irawan, Muhammad Ali Dermawan , Moh. Haikal, Restu Mukti Utomo, “Perbandingan Hasil Iterasi Aliran Daya (*Load Flow*) Menggunakan Metode *Newton Raphson* dan Metode *Fast-Decoupled* Dengan Software ETAP,” *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, Volume 16, No.3, September 2022
- [5]. Heru Dibyo Laksono, “Perbandingan Metoda Newton Raphson Dan Metoda Fast Decouple Pada Studi Aliran Daya (Aplikasi PT. PLN Sumbar-Riau 150 KV),” *Teknika*, Vol.3 No. 27, April 2007 ISSN: 854-8471
- [6]. Miftahul Fikri dan Dwi Anggani, “Metode *Newton Raphson* Untuk Analisis Aliran Daya Jaringan Distribusi 12,66 kV,” *Jurnal Ilmiah SUTET*, Vol. 8, No. 2, Juli- Desember 2018, P-ISSN 2356-1505, E-ISSN 2656-9175
- [7]. Muhammad Imran, Andik Bintoro, Ezwarsyah, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Wilayah Kota Lhokseumawe Di PT. PLN (Persero) Rayon Kota Lhokseumawe,” *Jurnal Energi Elektrik*, Vol. 08 No. 01 Tahun 2019, P-ISSN 2303- 1360, E ISSN 2622- 2639
- [8]. Otniel, Fredo dkk, “Analisa Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Penyulang 05ee0101a Di Area Utilities Iii PT. Pertamina (Persero) *Refinery* Unit IV Cilacap Menggunakan Metode *Newton-Raphson*.” *Journal Of Energy and Electrical Engineering (JEEE)* Vol. 01, No. 01
- [9]. Rizky Kurniawan, Slamet Hani, Samuel Kristiyana, “Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik di PT. Kirana Megatara Menggunakan Software Electric Transient And Analysis Program (ETAP) 12.6,” *Jurnal elektrikal*, Vol.6, No.1, Juni 2019
- [10]. Ronny Dwi Noriyati dan Ontoseno Penangsang, “Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Industri Pupuk,” *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol dan Otomasi (SNIKO) 2015 Bandung, Indonesia*, 10-11 Desember 2015
- [11]. Sepannur Bandri, Rafika Andari, Fithia Ezra Mustika, “Analisis Perbaikan *Drop* Tegangan Melalui Perubahan Pola Operasi Pada Penyulang Koto Tinggi,” *Jurnal Radial*, Vol. 9 No. 2, Desember 2021, pp. 221-233.
- [12]. Sumardi, Patria Julianto, “Analisa Aliran Daya Pada Jaringan Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Sebatik Menggunakan Software Etap Powerstation 12.6.0,” *Jurnal: Elekrika Borneo (JEB)* Vol. 4, No. 1, April 2018, pp. 19-23



©2023. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)