

ANALISIS ALIRAN DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI BANDARA INTERNASIONAL SUPADIO MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 19

HENDRO WIDIARTO

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang
e-mail: hendro.widiarto@ppicurug.ac.id

ABSTRAK

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu bagian terpenting di Bandara Internasional Supadio dengan sistem jaringan infrastruktur yang menyediakan pasokan listrik yang andal untuk semua fasilitas dan kegiatan operasional di bandara yang meliputi pembangkit listrik, jaringan transmisi dan distribusi, serta peralatan pendukung seperti transformator, panel listrik, dan generator untuk memastikan pasokan listrik yang stabil tanpa gangguan sehingga dapat meningkatkan kualitas aliran daya pada sistem tenaga listrik dan keandalan sistem jaringan tegangan menengah tersebut. Untuk memenuhi kualitas aliran daya pada jaringan tegangan menengah tersebut maka diperlukan analisis daya/beban di Bandara Internasional Supadio. Analisis kualitas sistem tenaga listrik di Bandara Internasional Supadio dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*). Dilakukannya analisis tersebut diharapkan dapat mengetahui hasil analisis kualitas jaringan tegangan menengah dan kontinuitas jalur distribusi dalam sistem tenaga listrik di Bandara Internasional Supadio.

Kata Kunci: Aliran Daya, Jaringan Tegangan Menengah, ETAP 19

ABSTRACT

The electric power system is one of the most important parts at Supadio International Airport with an infrastructure network system that provides reliable electricity supply for all facilities and operational activities at the airport which includes power plants, transmission and distribution networks, as well as supporting equipment such as transformers, electrical panels, and generator to ensure a stable uninterrupted power supply so as to improve the quality of power flow in the electric power system and the reliability of the medium-voltage network system. To meet the quality of power flow in the medium-voltage network, a power/load analysis at Supadio International Airport is needed. Analysis of the quality of the electric power system at Supadio International Airport can be done using ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*) software. The analysis is expected to determine the results of the analysis of the quality of the medium-voltage network and the continuity of distribution lines in the electric power system at Supadio International Airport.

Keyword: Power Flow, Medium Voltage Network, ETAP 19

PENDAHULUAN

Bandara Internasional Supadio merupakan salah satu bandara yang dikelola oleh PT. Angkasa Pura II (kode IATA: PNK, kode ICAO: WIOO). Bandara ini menerima pasokan listrik sebesar 3.465 kVA dari PLN dari berbagai infrastruktur transmisi, distribusi, transformator, panel listrik, dan generator. Saat ini, Bandara Supadio sedang dalam proyek pembangunan dan penambahan beban pada perpanjangan *runway* dan penambahan unit garbarata. Penambahan beban tersebut berdampak terhadap distribusi listrik pada jaringan tegangan menengah 20 kV dalam sistem tenaga listrik.. Sistem tenaga listrik merupakan terdiri dari pusat listrik, pusat beban, dan jaringan transmisi-distribusi yang saling terhubung (Machfudiah, 2019).

Kompleksitas sistem tenaga listrik di Bandara Internasional Supadio berfokus pada kualitas, keandalan, dan keamanan pasokan listrik. Upaya pemeliharaan, perawatan, dan

pengembangan fasilitas listrik dengan prosedur tepat diperlukan untuk meningkatkan keamanan penerbangan dan pelayanan publik di bandara (Ervidiana et al., 2020).

Penambahan beban dapat mempengaruhi kualitas jaringan tegangan menengah 20 kV, yang disalurkan melalui jaringan distribusi primer sebelum gardu distribusi (Widiarto & Samanhudi, 2022). Oleh karena itu, analisis aliran daya sangat penting untuk memastikan optimalitas jaringan TM dan distribusi daya di bandara (Widiarto & Suprihartini, 2022).

Analisis aliran daya adalah perhitungan yang mengungkapkan kinerja sistem tenaga listrik dan aliran daya (nyata dan reaktif) pada kondisi tertentu (Niagara & Primadiyono, 2015). Hal ini bertujuan untuk merencanakan dan mengevaluasi daya dalam sistem tenaga listrik (Niagara, 2015). Untuk mempercepat dan efisiensi waktu, analisis ini menggunakan aplikasi *software* yaitu ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*) dalam menganalisis aliran daya (PERMADI, 2022).

Untuk menunjang bertambahnya permintaan energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik yang disalurkan. Dengan melakukan suatu analisa terhadap sistem tenaga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas energi listrik, dikarenakan analisa sistem tenaga mencakup beberapa permasalahan utama dalam sistem tenaga. Salah satunya yaitu aliran daya, studi aliran daya dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya dan tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak. Untuk menyelesaikan aliran daya, penulis menggunakan *software* ETAP 12.6 untuk mensimulasikan aliran daya pada 37 bus sistem standar IEEE. Adapun metode aliran daya yang digunakan adalah metode *Fast Decoupled*, maka dapat diketahui aliran daya, daya aktif sebesar 2.338.000 Watt, daya reaktif sebesar 7.771.000 Var (Hasibuan et al., 2020).

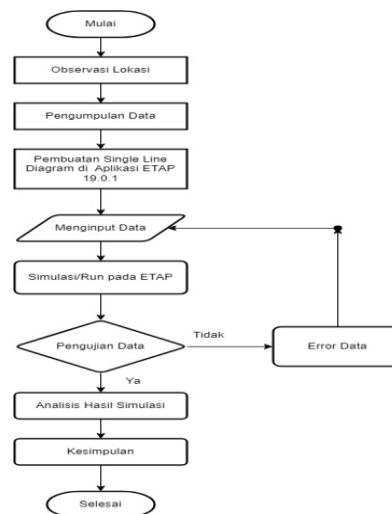
Analisis Aliran Daya Listrik (*Load Flow*) adalah suatu studi untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya dalam suatu sistem tenaga listrik. Studi analisis aliran beban ini mengambil contoh pada implementasi sistem tenaga listrik di PT. Asia Pasific Fibers Tbk Kendal, dengan karakteristik beban terpusat (*lumped load*). Analisis aliran daya diawali menghitung daya aktif dan daya reaktif pada setiap simpul (bus) terpasang, pembebanan pada transformator, pembebanan pada saluran atau penghantar, nilai rugi daya (*Losses*), jatuh tegangan sistem, dan aliran daya pada jaringan sistem tenaga listrik terpasang (Gustian Niagara dan Yohanes Primadiyono, 2015).

Software ETAP digunakan untuk menganalisis sistem tenaga di Bandara Internasional Supadio, termasuk transmisi, distribusi, keandalan, dan efisiensi operasional. Penelitian ini mengidentifikasi aliran daya dari PLN dan Genset, mengevaluasi distribusi melalui *alert view* dan *voltage drop*, serta rugi daya.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis mengangkat masalah dengan judul “Analisis Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik di Bandara Internasional Supadio Menggunakan Software ETAP 19”. Subjek penelitian yang digunakan yaitu jaringan TM 20 kV yang berlokasi di Bandara Internasional Supadio, Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat dengan waktu pelaksanaan penelitian berupa analisis pada bulan Maret – Agustus 2023.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif yang berfokus pada penggunaan angka, mulai dari proses pengumpulan data, analisis data dan penampilan data (Ahyar et al., 2020). Analisis distribusi tegangan menengah di Bandara Supadio menggunakan metode literatur, data observasi lapangan, dan *software* ETAP.



Gambar 1. Flowchart Pengolahan Data

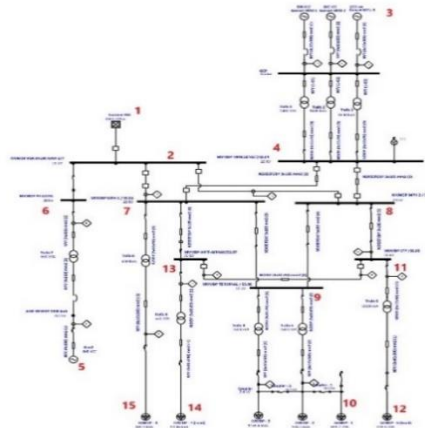
Software ETAP Power Station 19.0.1 digunakan untuk menganalisis data aliran daya dan kualitas jalur distribusi di Bandara Internasional Supadio. Langkah-langkahnya mencakup pembuatan *Single Line Diagram*, memasukan input data komponen seperti sumber, generator, trafo, beban, dan lainnya, dilanjutkan dengan simulasi aliran daya. Simulasi tersebut akan menunjukkan *error* jika data salah, atau hasil nilai aliran daya jika data benar. Hasil analisis ini menjadi referensi dalam bidang Transmisi dan Distribusi di Bandara Internasional Supadio dan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.

Teknik pengambilan data adalah teknik/cara yang digunakan oleh penulis atau peneliti dalam mendapatkan suatu data yang dibutuhkan dalam perancangannya atau penelitiannya (Simangunsong, 2021). Beberapa teknik data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Studi Pustaka, Studi kepustakaan juga berarti teknik pengumpulan data dengan melakukan penelaahan terhadap buku, literatur, catatan, serta berbagai laporan yang berkaitan dengan masalah yang ingin dipecahkan (Nazir, 2003). Mencari data dan informasi terkait aliran daya pada sistem tenaga listrik agar distribusi aliran daya menjadi lebih efektif.
2. Observasi Lapangan, Teknik observasi adalah teknik yang melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang akan diteliti sehingga mendapatkan data yang *real*. Mengamati langsung di Bandara Internasional Supadio secara *sight visit*.
3. Wawancara, Teknik wawancara adalah teknik tanya jawab antara pewawancara dengan narasumber, tujuannya adalah agar pewawancara dapat menggali informasi dan data yang lebih akurat. Diskusi dengan teknisi bandara di Bandara Internasional Supadio melalui serangkaian pertanyaan terkait penelitian.

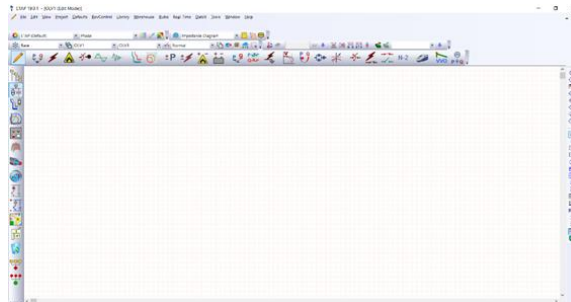
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak beban terhadap kualitas jaringan kelistrikan, pemenuhan daya dari PLN dan Genset, serta penilaian tegangan jatuh dan kerugian daya pada kabel yang digunakan di Bandara Internasional Supadio.



Gambar 2. SLD Jaringan TM 20 kV

Pada analisis aliran daya di Bandara Internasional Supadio, digunakan aplikasi ETAP Power Station 19.0.1. ETAP 19 merupakan software untuk menganalisis kelistrikan, termasuk aliran daya, *short circuit*, sistem proteksi, dan analisis lainnya. Melakukan analisis aliran daya menggunakan perangkat lunak ETAP Power Station 19.0.1 berdasarkan *Single Line Diagram* dan data masukan yang diberikan tentang besaran listrik yang diketahui. Masukan tersebut merupakan hasil pengambilan data yang telah dilakukan survey lapangan lalu dimasukkan dalam aplikasi ETAP 19 untuk melakukan simulasi. Pada analisis data tersebut, dijelaskan mengenai pengaturan struktur jaringan listrik di Bandara Internasional Supadio yang menggunakan *Single Line Diagram*. Diagram tersebut akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak ETAP Power Station 19.0.1.



Gambar 3. Layar Project File (OLV 1 (Edit Mode) Sumber Aplikasi ETAP 19.0.1 Hasil Simulasi

Setelah melakukan gambaran *Single Line Diagram* dan menginput data ke komponen listrik yang ada di Bandara Internasional Supadio, maka selanjutnya mengaktifkan *Run Load Flow* untuk mengetahui hasil-hasil nilai yang tercantum di Aplikasi ETAP Power Station 19.0.1. Dalam penelitian tersebut, hasil dari simulasi tersebut menampilkan fitur-fitur yang dibutuhkan antara lain:

- Daya Nyata/Aktif (P) dengan satuan Watt atau kW
- Daya Reaktif (Q) dengan satuan VAR atau kVAR
- Daya Semu (S) dengan satuan VA atau kVA
- Persentasi tegangan pada busbar untuk menganalisis kualitas tegangan
- Persentase *Voltage Drop* dan rugi daya pada kabel (*lossess*)

ETAP Power Station 19.0.1 juga menampilkan *Window Alert View* apabila terdapat indikasi *critical* maupun *marginal* pada jalur distribusi. Maka untuk menjabarkan lebih rinci

aspek apa saja yang akan dianalisis dijelaskan rangkaian analisis yang dilakukan sebagai berikut.

1. Analisis Kecukupan Catu Daya PLN dan Genset

Perhitungan daya aktif, daya reaktif, dan daya semu pada jalur distribusi untuk menganalisis kecukupan catu daya PLN dan genset. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan kapasitas catu daya saat ini. Berikut tabel hasil perhitungan *load flow analysis* PLN.

Tabel 1. Perhitungan Aliran Daya Pada Catu Daya PLN

Incoming	kW	kVAR	kVA
Main Incoming PLN	2278	2108	3103,7
MVMDP MPH-1/SS.04	1201	1059	1601,2
MVMDP MPH-2/SS.04	1078	1050	1504,9
MVMDP TERMINAL/SS-06	926,8	952,2	1328,8
Trafo 4 (1600 KVA)	919,5	974,9	1340,1
Load Terminal Bandara (LVMDP 1,2,&3 (Coupler))	870,5	899	1251,4
Load Terminal Bandara (LVMDP 3)	792,6	818,6	1139,4
Coupler-2 (LVMDP 3 to LVMDP 2) (Load)	77,9	80,4	111,9
MVMDP ARFF-AIRNAV/SS-07	97,3	-25,3	100,5
Trafo 9 (630 KVA)	70,6	24,5	74,7
LVMDP-7 (Load)	70,4	24,4	74,5
Trafo 8 (630 KVA)	176,6	133	221,1
LVMDP-4 (Load)	174,4	130,8	218,0
MVMDP STP/SS.05 (Looping)	26,7	0,553	26,7
MVMDP TERMINAL/SS-06	912,2	935,8	1306,8
Trafo 5 (1600 KVA)	915,5	974,9	1337,4
Load Terminal Bandara (LVMDP 1,2,&3)	870,5	899	1251,4
Coupler-1 (LVMDP 2 to LVMDP 1) (Load)	585,8	605	842,1
Load Terminal Bandara (LVMDP 2)	362,5	374,4	521,1
MVMDP STP/SS.05	165,5	115,9	202,0
Trafo 6 (1000 KVA)	192,2	146,2	241,5
LVMDP-6 (Load AFL)	191,3	143,5	239,1

Busbar *Main Incoming* PLN di Bandara Internasional Supadio memiliki daya aktif 2.278 kW, daya reaktif 2.108 kVAR, dan daya semu 3.103,7 kVA. Beban yang tersedia di bandara tersebut mencapai 89,57% dari kapasitas catu daya PLN sebesar 3,465 kVA. Hasil perhitungan manual *load flow analysis* catu daya PLN menggunakan rumus segitiga daya pada daya aktif, daya reaktif, dan daya semu.

Tabel 2. Data Hasil Perhitungan Manual Beban

Nameplate	PF	Daya Aktif (P) (kW)	Daya Reaktif (Q) (kVAR)	Daya Semu (S) (kVA)
Load LVMDP 1	69,56%	601,3	621	864,4
Load LVMDP 2	69,56%	372,1	384,4	535
Load LVMDP 3	69,56%	813,6	840,3	1169,6
Load LVMDP 4	80,00%	175,5	131,6	219,4
Load LVMDP 6	80,00%	195,8	146,9	244,8
Load LVMDP 7	94,50%	70,48	24,59	74,6
Total Beban	-	2278,8	2148,8	

Total daya semu pada beban:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{2.278,8^2 + 2.148,8^2}$$

$$S = 3.095,9 \text{ kVA}$$

Total daya semu hasil perhitungan manual 3.095,9 kVA, Bandara Internasional Supadio memiliki catu daya 3.465 kVA, persentase daya yang terpakai 89,35%. Bandara Internasional Supadio memiliki 4 genset dengan kapasitas 1.000 kVA sebagai cadangan jika catu daya dari PLN terputus. Berikut adalah tabel data hasil analisis aliran daya pada genset.

Tabel 3. Perhitungan Aliran Daya Pada Catu Daya Genset

Alliran Daya (Incoming)	kW	kVAR	kVA
GCP Genset 1	613,4	659,7	900,8
GCP Genset 2	613,4	659,7	900,8
GCP Genset 3	613,4	659,7	900,8
Trafo 1 (1600 KVA)	597,7	594,5	843,0
Trafo 2 (1600 KVA)	613	687,9	921,4
Trafo 3 (1600 KVA)	612,2	680,6	915,4
MVMDP MPH GENSET/SS-04	589,6	563,8	815,8
MVMDP MPH GENSET/SS-04	606,2	633,8	891,6
MVMDP MPH GENSET/SS-04	605,3	646,8	885,9
AMF Genset 1000 KVA	463,4	252,3	527,6
Trafo 7 (630 KVA)	460	249,2	523,2
MVMDP MPH LAMA	448,9	233,9	501,6
MVMDP PLN JALUR RAYA 6/7	448,9	233,9	506,2
MVMDP PLN JALUR RAYA 6/7	286,3	354,8	455,9
MVMDP MPH-1/SS-04	735,2	588,7	941,9
MVMDP MPH-1/SS-04	450,3	466,1	648,1
MVMDP MPH-2/SS-04	1351	1398	1944,1
MVMDP TERMINAL/SS-06	915,8	945,1	1316,0
Trafo 4 (1600 KVA)	908,5	965,3	1325,6
Load Terminal Bandara (LVMDP 1,2,&3 (Coupler))	856,4	884,5	1231,2
Load Terminal Bandara (LVMDP 3)	779,8	805,4	1121,1
Coupler-2 (LVMDP 3 to LVMDP 2) (Load)	76,6	79,1	110,1
MVMDP ARFF-AIRNAV/SS-07	95,8	-21,0	98,1
Trafo 9 (630 KVA)	69,5	24,1	73,6
LVMDP-7 (Load)	69,2	24,0	73,2
Trafo 8 (630 KVA)	173,9	131,1	217,8
LVMDP-4 (Load)	171,6	128,7	214,5
MVMDP STP/SS-05 (Looping)	26,3	1,1	26,3
MVMDP TERMINAL/SS-06	901,4	928,8	1294,3
Trafo 5 (1600 KVA)	908,5	965,3	1325,6
Load Terminal Bandara (LVMDP 1,2,&3)	856,4	884,5	1231,2
Coupler-1 (LVMDP 2 to LVMDP 1) (Load)	576,3	595,2	828,5
Load Terminal Bandara (LVMDP 2)	356,7	368,4	512,8
MVMDP STP/SS-05	163,1	115,8	200,0
Trafo 6 (1000 KVA)	189,4	144,2	238,0
LVMDP-5 (Load AFL)	188,5	141,3	235,6

Hasil simulasi analisis perhitungan aliran daya pada tabel 3, daya terbesar yang dibutuhkan oleh 4 unit genset yang masing-masing berkapasitas 1000 kVA sebesar, antara lain:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Daya pada Catu Daya Genset

Nameplate	kW	kVAR	kVA
Genset MTU 1	613,4	659,7	900,8
Genset MTU 2	613,4	659,7	900,8
Genset MTU 3	613,4	659,7	900,8
Genset MTU 4	463,4	252,3	527,6
Total Genset	2.303,6	2.231,4	3.230

Daya yang dihasilkan dari catu daya genset sebesar 2.303,6 kW, 2.231,4 kVAR, dan 3.230 kVA. Persentase ini sebesar 80,75% dari kapasitas total genset 4.000 kVA. Namun, jika dilihat dari perhitungan manual beban (dilihat pada tabel 4), kebutuhan daya beban masih tercukupi sebesar 77,40% dari kapasitas genset. Berdasarkan penelitian (Naibaho & Yoverly, 2022) Efisiensi Generator akan semakin baik apabila generator dibebani sampai dengan beban maksimum generator yang diberikan. Efisiensi generator ketika genset bekerja selama 1 jam pada Apartemen Mustika Golf Residence masih terbilang rendah yaitu sebesar 33,11%. Hal tersebut dikarenakan, ketika generator bekerja pembebanan pada generator juga rendah yaitu 17,26% dari total beban gedung 1.645 kW.

2. Analisis Keandalan Jalur Distribusi dan Alert View di Bandara Internasional Supadio

Penelitian keandalan jalur distribusi di Bandara Internasional Supadio memeriksa kualitas tegangan menggunakan perangkat lunak ETAP *Power Station* 19.0.1. Hasil perhitungan tegangan disajikan dalam skema catu daya PLN dan skema catu daya genset dalam tabel.

Tabel 5. Hasil Persentase Tegangan pada Busbar Catu Daya PLN

Busbar	Tegangan pada busbar		
	Jaringan	Persentase	Nilai
Main Incoming PLN	TM	100.00%	20.000
MVMDP PLN JALUR RAYA 6/7	TM	100.00%	20.000
MVMDP MPH GENSET/SS-04	TM	100.00%	20.000
MVMDP PH LAMA	TM	100.00%	20.000
MVMDP MPH-1/SS.04	TM	100.00%	20.000
Bus-5	TM	100.00%	20.000
Bus-19	TR	98.42%	0.394
MVMDP MPH-2/SS.04	TM	100.00%	20.000
MVMDP TERMINAL/SS-06	TM	99.99%	19.998
Bus-7	TM	99.99%	19.998
Bus-8	TM	99.99%	19.998
Bus-28	TR	93.33%	0.373
Bus-29	TR	93.33%	0.373
Bus-30	TR	93.33%	0.373
MVMDP STP/SS.05	TM	100.00%	20.000
Bus-9	TM	100.00%	20.000
Bus-27	TR	94.02%	0.376
MVMDP ARFF-AIRNAV/SS-07	TM	100.00%	20.000
Bus-6	TM	100.00%	20.000
Bus-21	TR	99.56%	0.398

Tabel 6. Hasil Persentase Tegangan pada Busbar Catu Daya Genset

Busbar	Tegangan pada busbar		
	Jaringan	Persentase	Nilai
Incoming GCP	TR	99.12%	0.396
GCP-1	TM	95.89%	19.178
GCP-2	TM	95.89%	19.178
GCP-3	TM	95.89%	19.178
MVMDP MPH GENSET/SS-04	TM	95.89%	19.178
Incoming AMF Genset 1000 KV	TR	99.17%	0.397
Bus-4	TM	95.89%	19.178
MVMDP PH LAMA	TM	95.89%	19.178
MVMDP MPH-1/SS.04	TM	95.89%	19.178
Bus-5	TM	95.89%	19.178
Bus-19	TR	94.26%	0.377
MVMDP MPH-2/SS.04	TM	95.89%	19.178
MVMDP TERMINAL/SS-06	TM	95.88%	19.176
Bus-7	TM	95.88%	19.176
Bus-8	TM	95.88%	19.176
Bus-28	TR	89.01%	0.356
Bus-29	TR	89.01%	0.356
Bus-30	TR	89.01%	0.356
MVMDP STP/SS.05	TM	95.88%	19.176
Bus-9	TM	95.88%	19.176
Bus-27	TR	90.09%	0.360
MVMDP ARFF-AIRNAV/SS-07	TM	95.89%	19.178
Bus-6	TM	95.89%	19.178
Bus-21	TR	95.44%	0.382

Hasil simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 menunjukkan tegangan jaringan Bandara Internasional Supadio masih memenuhi aturan SPLN 1:1995 dengan variasi maksimum +5% dan minimum -10% dari tegangan nominal (Negara, 1995). Hasil simulasi menunjukkan penurunan tegangan di Bus-28, Bus-29, dan Bus-30 dari sumber TM di MVMDP TERMINAL/SS-06

- a) Dari PLN: 93,33%–99,99% = **6,66%**
- b) Dari Genset: 89,01%– 95.88% = **6,87%**

Software ETAP *Power Station* 19.0.1 menampilkan *alert view* untuk hasil input data dan penggambaran SLD dengan indikasi *critical* dan marginal pada sistem tenaga listrik Bandara Internasional Supadio. Berikut ini hasil *alert view* pada sistem tenaga listrik di Bandara Internasional Supadio.

Critical Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Bus-29	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.273	93.3	3-Phase
Bus-30	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.273	93.3	3-Phase
Bus-23	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.273	93.3	3-Phase
Bus-25	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.273	93.3	3-Phase
Bus-26	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.276	94.1	3-Phase
Bus-27	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.276	94.0	3-Phase
Bus-28	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.273	93.3	3-Phase

Gambar 4. Alert View Critical Report Aliran Daya pada Catu Daya PLN

Marginal Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Bus-22	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.289	97.2	3-Phase
Bus-24	Bus	Under Voltage	0.000	kV	0.289	97.2	3-Phase

Gambar 5. Alert View Marginal Report Aliran Daya pada Catu Daya PLN

Hasil *alert view* simulasi di ETAP *Power Station 19.0.1* pada aliran daya dari PLN menunjukkan indikasi laporan *critical* dan *marginal*, terutama di jaringan TR Bandara Internasional Supadio dengan *rating* 400 V. Hasil tersebut masih memenuhi standar SPLN 1:1995.

Berikut ini hasil *alert view* aliran daya dari catu daya Genset sebagai berikut.

Critical Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Bus-29	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.256	95.9	3-Phase
Bus-30	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.256	95.9	3-Phase
Bus-11	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.378	94.4	3-Phase
Bus-17	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.377	94.3	3-Phase
Bus-25	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.377	93.9	3-Phase
Bus-27	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.368	95.2	3-Phase
Bus-24	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.372	93.8	3-Phase
Bus-22	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.256	95.9	3-Phase
Bus-26	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.361	95.1	3-Phase
Bus-27	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.366	95.1	3-Phase
Bus-28	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.356	95.9	3-Phase

Gambar 6. Alert View Critical Report Aliran Daya pada Catu Daya Genset

Marginal Report

Device ID	Type	Condition	Rating/Limit	Unit	Operating	% Operating	Phase Type
Bus-1	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-2	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-20	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.342	95.5	3-Phase
Bus-21	Bus	Under Voltage	0.400	kV	0.342	95.4	3-Phase
Bus-3	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-4	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-5	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.177	95.9	3-Phase
Bus-6	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.177	95.9	3-Phase
Bus-7	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-8	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
Bus-9	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.177	95.9	3-Phase
MOMEP/ARFF-AIRSV/SS07	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.177	95.9	3-Phase
MOMEP/MPH1/SS04	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
MOMEP/MPH2/SS04	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
MOMEP/MPH/GENSESS/04	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
MOMEP/PH/LAMA	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
MOMEP/PLN/TALE/04/RATA/6/7	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase
MOMEP/STP/SS02	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.177	95.9	3-Phase
MOMEP/TERMINAL/SS06	Bus	Under Voltage	20.000	kV	19.178	95.9	3-Phase

Gambar 7. Alert View Marginal Report Aliran Daya pada Catu Daya Genset

Pada aplikasi ETAP *Power Station 19.0.1*, terdapat indikasi laporan *critical* pada jaringan TR 400 V pada Bus-29, Bus-30, Bus-23, Bus-25, dan Bus-28 dengan persentase terendah 89,01% (6,87% dari Trafo 4 dan Trafo 5). Sedangkan indikasi laporan *marginal* terjadi pada jaringan TM 20 kV dengan persentase sebesar 95,88% (4,12% dari tegangan nominal). Indikasi tersebut memenuhi standar yang ditetapkan oleh aturan SPLN. Penelitian (Bobo, Galla, & Mauboy, 2017) menunjukkan bahwa Indeks keandalan suatu jaringan distribusi sangat dipengaruhi oleh panjang saluran, jumlah komponen terpasang dan banyak pelanggan. Semakin panjang suatu saluran distribusi dengan semakin banyak komponen yang terpasang, maka nilai indeks keandalan akan semakin kecil. Demikian juga dengan semakin banyak jumlah pelanggan maka semakin kecil indeks keandalan.

3. Analisis Nilai Tegangan Jatuh dan Rugi Daya pada Kabel

Dalam analisis aliran daya, hubungan antara jalur distribusi, *voltage drop*, dan rugi daya pada kabel dapat mempengaruhi kualitas jaringan. Simulasi *voltage drop* dan *losses* akan ditampilkan dalam tabel berdasarkan sumber catu daya PLN dan Genset.

Tabel 7. Voltage Drop Tiap Saluran dari Catu Daya PLN pada Aplikasi ETAP Power Station 19.0.1

Uraian	Tipe	Arus (A)	Voltage Drop	Losses	
				kW	KVAR
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (1)	Kabel TM	0,02	0,00%	0,00	-0,41
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (2)	Kabel TM	0,06	0,00%	0,00	-1,23
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (3)	Kabel TM	39,00	0,01%	0,07	-30,62
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (4)	Kabel TM	38,38	0,01%	0,07	-31,12
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (5)	Kabel TM	6,05	0,00%	0,01	-12,60
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (6)	Kabel TM	2,90	0,00%	0,00	-50,33
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (1)	Kabel TM	6,98	0,00%	0,00	-0,15
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (2)	Kabel TM	2,16	0,00%	0,00	-0,18
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (3)	Kabel TM	6,40	0,00%	0,00	-0,80
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (4)	Kabel TM	0,93	0,00%	0,00	-17,13
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (1)	Kabel TM	0,01	0,00%	0,00	-0,48
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (2)	Kabel TM	0,01	0,00%	0,00	-0,43
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (3)	Kabel TM	0,01	0,00%	0,00	-0,38
N2XSY (3x1Cx95) mm2 (1)	Kabel TM	38,71	0,00%	0,04	-0,81
N2XSY (3x1Cx95) mm2 (2)	Kabel TM	38,71	0,00%	0,04	-0,81
NY Y (1-G1)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (1-G2)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (1-G3)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (3x4Cx300) mm2 (1)	Kabel TR	367,10	0,05%	0,10	0,10
NY Y (4x1Cx240) mm2 (1)	Kabel TR	1935,00	3,89%	41,58	32,36
NY Y (4x1Cx240) mm2 (-1)	Kabel TR	107,90	0,06%	0,04	0,03
NY Y (4x1Cx240) mm2 (2)	Kabel TR	1935,00	3,89%	41,58	32,36
NY Y (4x1Cx240) mm2 (-2)	Kabel TR	319,80	0,16%	0,28	0,22
NY Y (4x1Cx300) mm2 (1)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (4x1Cx300) mm2 (2)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (4x1Cx300) mm2 (3)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (4x300) mm2 (1)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (4x300) mm2 (2)	Kabel TR	0,00	0,00%	0,00	0,00
NY Y (4x300) mm2 (3)	Kabel TR	0,02	0,00%	0,00	-0,66
Trafo 1	Trafo	0,00	0,00%	0,00	0,00
Trafo 2	Trafo	0,00	0,00%	0,00	0,00
Trafo 3	Trafo	0,00	0,00%	0,00	0,00
Trafo 4	Trafo	38,71	2,77%	7,39	44,33
Trafo 5	Trafo	38,71	2,77%	7,39	44,33
Trafo 6	Trafo	6,98	0,97%	0,80	2,81
Trafo 7	Trafo	0,00	0,00%	0,00	0,00
Trafo 8	Trafo	6,40	1,42%	1,85	2,77
Trafo 9	Trafo	2,16	0,38%	0,20	0,30
Total				101,44	11,42

Dalam ETAP *Power Station* 19.0.1, total kehilangan daya PLN pada daya aktif dan reaktif sebesar 101,44 kW dan 11,42. Nilai tegangan jatuh tertinggi sebesar 3,89%.

Simulasi ETAP tegangan jatuh dan *losses* daya kabel dari Genset ditampilkan dalam tabel sebagai berikut.

Tabel 8. Voltage Drop Tiap Saluran dari Catu Daya Genset pada Aplikasi ETAP Power Station 19.0.1

Uraian	Tipe	Arus (A)	Voltage Drop	Losses	
				KW	KVAR
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (1)	Kabel TM	19,52	0,00%	0,00	-0,37
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (2)	Kabel TM	58,56	0,00%	0,01	-1,12
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (3)	Kabel TM	40,23	0,01%	0,07	-28,15
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (4)	Kabel TM	39,59	0,01%	0,07	-28,60
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (5)	Kabel TM	6,23	0,00%	0,01	-11,58
N2XSEFGbY 3x185 mm2 (6)	Kabel TM	2,98	0,00%	0,00	-46,28
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (1)	Kabel TM	7,17	0,00%	0,00	-0,16
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (2)	Kabel TM	2,22	0,00%	0,00	-0,16
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (3)	Kabel TM	6,57	0,00%	0,00	-0,74
N2XSY (3x1Cx50) mm2 (4)	Kabel TM	0,94	0,00%	0,00	-15,75
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (1)	Kabel TM	24,56	0,00%	0,01	-0,44
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (2)	Kabel TM	26,84	0,00%	0,01	-0,39
N2XSY (3x1Cx70) mm2 (3)	Kabel TM	26,67	0,00%	0,01	-0,35
N2XSY (3x1Cx95) mm2 (1)	Kabel TM	39,93	0,00%	0,04	-0,75
N2XSY (3x1Cx95) mm2 (2)	Kabel TM	39,93	0,00%	0,04	-0,75
NY Y (1-G1)	Kabel TR	1228,00	0,55%	3,45	3,21
NY Y (1-G2)	Kabel TR	1342,00	0,18%	1,24	1,15
NY Y (1-G3)	Kabel TR	1333,00	0,21%	1,42	1,32
NY Y (3x4Cx300) mm2 (1)	Kabel TR	377,40	0,06%	0,11	0,10
NY Y (4x1Cx240) mm2 (1)	Kabel TR	1996,00	4,02%	44,25	34,44
NY Y (4x1Cx240) mm2 (-1)	Kabel TR	110,80	0,06%	0,04	0,03
NY Y (4x1Cx240) mm2 (2)	Kabel TR	1996,00	4,02%	44,25	34,44
NY Y (4x1Cx240) mm2 (-2)	Kabel TR	328,50	0,17%	0,30	0,23
NY Y (4x1Cx300) mm2 (1)	Kabel TR	1300,00	0,88%	5,81	5,40
NY Y (4x1Cx300) mm2 (2)	Kabel TR	1300,00	0,88%	5,81	5,40
NY Y (4x1Cx300) mm2 (3)	Kabel TR	1300,00	0,88%	5,81	5,40
NY Y (4x300) mm2 (1)	Kabel TR	761,50	0,83%	3,32	3,09
NY Y (4x300) mm2 (2)	Kabel TR	761,50	0,33%	1,33	1,24
NY Y (4x300) mm2 (3)	Kabel TR	15,24	0,00%	0,00	-0,60
Trafo 1	Trafo	1228,00	2,68%	4,65	27,87
Trafo 2	Trafo	1342,00	3,05%	5,55	33,29
Trafo 3	Trafo	1333,00	3,02%	5,48	32,86
Trafo 4	Trafo	39,93	2,85%	7,86	47,18
Trafo 5	Trafo	39,93	2,85%	7,86	47,18
Trafo 6	Trafo	7,17	0,99%	0,85	2,97
Trafo 7	Trafo	761,50	2,95%	9,80	14,71
Trafo 8	Trafo	6,57	1,46%	1,95	2,93
Trafo 9	Trafo	2,22	0,39%	0,21	0,31
Total				161,63	168,57

Simulasi ETAP *Power Station* 19.0.1 menemukan bahwa total kerugian daya catu daya Genset pada daya aktif dan reaktif adalah 161,63 kW dan 168,57 kVAR. *Voltage drop* tertinggi di Bandara Internasional Supadio mencapai 4,02%. Menurut PUIL 2011 Pasal 2.2.3 bagian 1 Umum, batas maksimal penurunan tegangan antara pelanggan dan instalasi adalah 4% dari *voltase* saat arus mengalir (PUIL, 2011). Data menunjukkan bahwa penurunan tegangan terukur melebihi batas ini, yakni 4,02% pada Genset. Kerugian dan penurunan tegangan memiliki besaran yang setara pada dua jenis kabel NYY (4x1Cx240) mm² (1) dan (2). Menurut penelitian (Prmono, Erlina, Soewono, & Fatimah, 2018) penyebab utama terjadinya drop tegangan pada jaringan atau saluran distribusi antara lain karena adanya pengaruh besar arus yang mengalir pada saluran, panjang saluran, dan impedansi. Drop tegangan yang sangat besar di jaringan tegangan menengah dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan konsumen, ini dikarenakan kurangnya tegangan yang diperlukan oleh peralatan konsumen.

4. Analisis Kecukupan Catu Daya PLN dan Genset pada Penambahan Beban Baru

Saat ini, Bandara Internasional Supadio sedang dalam pembangunan di Area Terminal Bandara dan *AFL*. Pembangunan tersebut antara lain:

- Penambahan 3 Garbarata Baru
- Perpanjangan *runway* di ujung *runway* 33

Penjelasan yang diatas akan dianalisis dalam penyajian tabel sebagai berikut.

Tabel 9. Analisis Penambahan Daya dan Beban di Bandara Internasional Supadio

No.	Uraian	Daya Listrik (kVA)			Lokasi
		Kebutuhan Daya	Kondisi		
			Saat Ini	Mendatang	
1	Penambahan 3 Buah Garbarata	75	105	180	LVMDP-3, Terminal Bandara
2	Perpanjangan Ujung Runway 33	1,7	71,6	73,3	LVMDP-6, AFL/STP

Berikut ini data penambahan beban baru di Bandara Internasional Supadio.

Tabel 10. Data Penambahan Daya/Beban Listrik untuk Beban Terminal Bandara dan Beban AFL

No.	Uraian	Lokasi	Daya Listrik (kVA)	
			Saat Ini	Rencana
1	Penambahan 3 Buah Garbarata	Substation 6 (LVMDP-3), Terminal Bandara	1.169,6	1.349,6
2	Perpanjangan Ujung Runway 33	Substation 5 (LVMDP-6), AFL/STP	244,8	246,5

Dalam hasil simulasi ETAP 19 mengenai rencana daya dan beban di Bandara Internasional Supadio disajikan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 11. Analisis Simulasi Aliran Daya Catu Daya PLN Saat Ini dan Rencana

Catu Daya PLN		
Langganan Daya	3465 kVA	
Aliran Daya	Saat Ini	Rencana
Daya Aktif (KW)	2.278,0	2.413,2
Daya Reaktif (KVAR)	2.108,0	2.255,0
Daya Semu (KVA)	3.103,7	3.302,8

Tabel 12. Analisis Simulasi Aliran Daya Catu Daya Genset Saat Ini dan Rencana

Genset	Kapasitas (KVA)	Saat Ini			Rencana		
		kW	kVAR	kVA	kW	kVAR	kVA
Genset MTU 1	1000	613,4	659,7	900,8	650,1	707,9	961,1
Genset MTU 2	1000	613,4	659,7	900,8	650,1	707,9	961,1
Genset MTU 3	1000	613,4	659,7	900,8	650,1	707,9	961,1
Genset MTU 4	1000	463,4	252,3	527,6	492,7	272,3	562,9
Total Genset	4000	2.303,6	2.231,4	3.230	2.706,2	2.056,7	3.446,2

Hasil analisis aliran daya PLN dan genset di Bandara Internasional Supadio setelah penambahan daya perlu diikuti dengan perhitungan manual aliran daya di masa depan dengan tabel sebagai berikut.

Tabel 13. Data Estimasi Perhitungan Beban Mendatang (Penambahan Beban Baru)

Nameplate	PF	kW	kVAR)	kVA
Load LVMDP 1	69,56%	601,3	621,00	864,40
Load LVMDP 2	69,56%	372,1	384,40	535,00
Load LVMDP 3	69,56%	938,8	969,60	1349,60
Load LVMDP 4	80,00%	175,5	131,60	219,40
Load LVMDP 6	80,00%	197,2	147,90	246,50
Load LVMDP 7	94,50%	70,48	24,59	74,60
Total Beban		2.355,4	2.279,1	

Total daya semu pada beban:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{2.355,4^2 + 2.279,1^2}$$

$$S = 3.277,5 \text{ kVA}$$

Hasil perhitungan manual aliran daya yang akan datang sebesar 3.277,5 kVA. Aliran daya dari genset simulasi ETAP 19.0.1 mencapai 3.423,3 kVA (86,16% dari total kapasitas genset 4.000 kVA, berdasarkan Tabel 13). Estimasi manual untuk kebutuhan daya di masa mendatang, disesuaikan dengan catu daya PLN 3.465 kVA dan catu daya total genset 4.000 kVA (4 genset masing-masing 1.000 kVA). Dengan ini, total persentase kebutuhan daya di Bandara Internasional Supadio adalah 94,59% dari PLN dan 81,94% dari genset.

KESIMPULAN

Didapatkan kesimpulan dari hasil analisis menggunakan ETAP ini yaitu menunjukkan bahwa aliran daya di Bandara Internasional Supadio cukup memenuhi kebutuhan saat ini dengan persentase 89,35% dari catu daya berasal dari PLN dan 80,75% dari Genset. Kualitas keandalan jalur distribusi di Bandara Internasional Supadio memenuhi aturan SPLN 1:1995 dan dinilai baik. Namun, dalam hal *voltage drop*, catu daya Genset tidak memenuhi syarat sesuai PUIL 2011 karena persentase *voltage drop* melebihi 4%, yaitu sebesar 4,02%. Dengan menggunakan perhitungan ETAP tersebut rencana penambahan beban baru di Bandara memerlukan peningkatan daya dari PLN dan untuk mengurangi dampak *voltage drop*, disarankan melakukan *setting tap* trafo atau *uprating* kabel di area dengan *voltage drop* tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyar, H., Maret, U. S., Andriani, H., Sukmana, D. J., & Mada, U. G. (2020). *Buku Metode Penelitian Kualitatif & Kuantitatif* (Issue April).
- Erviana, A., Bestari, B., Studi, P., Listrik, T., & Indonesia, P. P. (2020). *Sebagai Parameter Kualitas Jalur Distribusi 20Kv Menggunakan Program Etap Power Station 12 . 6 . 0 Di Bandar Udara Internasional Husein.*

- Gustian Nigara dan Yohanes Primadiyono, A. (2015). Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4.0. *Jurnal Teknik Elektro*, 7.
- Hasibuan, A., Isa, M., Yusoff, M. I., & Rahim, S. R. A. (2020). Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Dengan Metode Fast Decoupled Menggunakan Software Etap. (*Rekayasa Elektrikal Dan Energi*): *Jurnal Teknik Elektro*, 3. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.5236>
- Machfudiah. (2019). Analisis Alirn Daya Sistem Distribusi Radikal Dengan Metode Topology Network Berbasis Graphical User Interface (Gui) Matlab. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 7–38.
- Negara, P. L. (1995). *Spln 1 : 1995. 1*(Tegangan Standar).
- Niagara, A. Gustian., & Primadiyono, Y. (2015). Analysis of the powe flow of the electrical power system in the Texturizing Section of PT Asia Pacific Fibers tbk Kendal using ETAP Power station 4.0 software. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 7–10.
- Nigara, A. G. (2015). *Universitas negeri semarang 2015*. 1–242.
- PERMADI, R. (2022). *Analisis Aliran Daya Pada Jalur Kelistrikan Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Menggunakan*
- PUIL. (2011). Puil 2011. *DirJen Ketenagalistrikan, 2011*(Puil), 1–683.
- Simangunsong, G. A. (2021). *Rancangan Solar Cell Otomatis Berbasis Arduino Pada Lampu Outdoor Laboratorium Airfield Ground Lighting Politeknik Penerbangan Indonesia*.
- Widiarto, H., & Samanhudi, A. (2022). Transmisi dan Distribusi. In M. Hidayat & Miskadi (Eds.), *Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia*. Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia.
- Widiarto, H., & Suprihartini, Y. (2022). *Analisis Kualitas Jalur Distribusi Menggunakan Etap Power Station 12.6.0 Pada Gardu Politeknik Penerbangan Indonesia*. 2(1).