

## **Analisis Perencanaan Pembangunan Jaringan Berbasis Kabelisasi SUTM Menjadi SKTM Pada Wilayah KSPN Borobudur Berbasis Perangkat Lunak**

Khairun Nisa<sup>1,\*</sup>, Sri Lestari<sup>2</sup>, Maun Budiyanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada;

\*Korespondensi: m.budiyanto@ugm.ac.id

### **ABSTRAK**

Salah satu yang menjadi perhatian khusus di Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) yaitu nilai estetika di kawasan tersebut. Salah satu yang dapat mendukung hal ini yaitu dipastikannya saluran tenaga listrik tertata rapi, aman dan juga handal. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keandalan penyaluran listrik yaitu gangguan yang diakibatkan cuaca, petir, dan juga gangguan sentuhan ranting pohon yang mengenai jaringan hal ini akan menjadi masalah jika dalam kondisi penggunaan saluran udara. Pada penelitian ini dilakukan berdasarkan simulasi ETAP, yang akan menjadi bahan perbandingan dengan perhitungan manual berdasarkan besar jatuh tegangan dan rugi daya antara SUTM dan SKTM. Sehingga didapatkan hasil jatuh tegangan sebelum kabelisasi berdasarkan *software* ETAP sebesar 1,959 kV dan menjadi 1,646 kV. Dan untuk hasil rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP ini didapat hasil 675.4 kW menjadi 643.4 kW. Dari hasil simulasi didapatkan penurunan besar jatuh tegangan dan rugi daya setelah penggunaan SKTM, hal ini dapat terjadi karena ada perbedaan kabel penghantar SUTM dan SKTM yang menjadi solusi dalam mendukung keandalan sistem tenaga listrik.

**Kata kunci - SUTM, SKTM, jatuh tegangan, rugi daya**

### **ABSTRACT**

*One of the special concerns in the National Tourism Strategic Area (KSPN) is the aesthetic value of the area. One of the things that can support this is ensuring that the electrical power lines are neatly organized, safe and also reliable. There are several factors that affect the reliability of electricity distribution, namely disturbances caused by weather, lightning, and also interference with the touch of tree branches hitting the network. This research was carried out based on the ETAP simulation, which will be used as a comparison material with manual calculations based on the voltage drop and power loss between SUTM and SKTM. So that the results of the voltage drop before cableization based on the ETAP software are 1.959 kV and become 1.646 kV. And for the results of power loss based on the results of the ETAP simulation, the results obtained are 675.4 kW to 643.4 kW. From the simulation results, it was found that there was a large decrease in the voltage drop and power loss after using SKTM, this could occur because there are differences in the SUTM and SKTM conductor cables which are a solution in supporting the reliability of the electric power system.*

**Keywords - SUTM, SKTM, voltage Jatuh, power losses**

## 1. PENDAHULUAN

Wilayah Borobudur termasuk wilayah Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN), yaitu daerah kawasan yang ditujukan untuk memiliki fungsi utama pariwisata dan akan berperan dalam hal pengembangan pariwisata yang memiliki pengaruh penting dalam satu aspek juga aspek lainnya. Dengan adanya hal ini membuat wilayah Borobudur memiliki perhatian lebih dari segi penyaluran sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu PT. PLN(Persero) ULP Borobudur bersama UP3 Magelang bekerja sama dalam membuat perencanaan kabelisasi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) menjadi Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM) dalam upaya membangun wilayah Borobudur menjadi Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN).

Pemasangan jaringan tegangan menengah (JTM) terdiri dari 2 jenis, yakni SUTM dengan pemasangan kawat di udara yang didukung oleh tiang listrik, dan SKTM yang merupakan sistem penyaluran listrik melalui kabel-kabel yang tertanam di dalam tanah. Jaringan listrik bawah tanah sudah banyak direalisasikan, khususnya bagi wilayah yang mengedepankan unsur estetika lingkungan [1]. SKTM merupakan sebagai salah satu jaringan utama pendistribusian tenaga listrik dalam upaya peningkatan kualitas pendistribusian. Jika dilakukan perbandingan antara penggunaan konstruksi SUTM dengan SKTM, maka dapat meminimalisir gangguan eksternal dan juga dapat meningkatkan keamanan juga keandalan ketenagalistrikan.

Selain berdasarkan nilai estetika, pemilihan konstruksi jaringan tenaga listrik juga harus memperhatikan besar jatuh tegangan dan rugi daya jaringan. Jatuh tegangan merupakan salah satu penyebab kerugian perusahaan listrik secara teknis maupun non teknis. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya jatuh tegangan pada saluran distribusi meliputi termasuk tipe kabel penghantar yang digunakan, panjang saluran penghantar, pembebanan transformator, perbandingan antara daya aktif dan daya semu (faktor daya), total daya yang digunakan di area tersebut, dan kualitas sambungan antara kabel-kabel tersebut (*jointing*). Semua faktor tersebut berkontribusi terhadap besarnya jatuh tegangan pada suatu saluran distribusi. Oleh karena itu perlunya dilakukan pembangunan jaringan distribusi yang lebih baik, aman bagi keselamatan jiwa, dan meminimalisir terjadinya gangguan

eksternal [2].

Selain itu penyebab terjadinya jatuh tegangan juga dipengaruhi karena adanya penurunan tegangan dari sumber. Jatuh tegangan ini termasuk ke dalam kerugian teknis karena adanya faktor impedansi pada jaringan yang dilalui oleh arus listrik. Oleh karena itu, penurunan tegangan ini juga terjadi karena adanya resistansi sepanjang saluran atau penghantar pada jaringan. Konsep penurunan tegangan didefinisikan sebagai selisih besar tegangan antara tegangan pada awal jaringan, yaitu terdapat pada pusat tenaga atau pembangkit, gardu induk, gardu hubung, atau trafo tiang (trafo distribusi), dengan besar tegangan yang terdapat pada ujung jaringan (beban atau konsumen) [3].

Mengacu SPLN perhitungan jatuh tegangan pada batas tertentu dengan memperhitungkan nilai hambatan masih dapat dipertimbangkan, tetapi pada jaringan sistem khususnya pada sistem tegangan menengah, faktor induktansi dan kapasitansi harus diperhitungkan karena memiliki nilai yang signifikan dan mempengaruhi penghitungan jatuh tegangan [4]. Besar batas tegangan yaitu kenaikan tegangan 5% dan penurunan tegangan sebesar 10%.

Penanggulangan jatuh tegangan dapat dilakukan dengan lebih memperhatikan jenis kabel penghantar yang digunakan serta juga luas penampang kabel yang digunakan. Nilai jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik meningkat seiring dengan bertambahnya panjang saluran dan beban yang digunakan, sementara nilai jatuh tegangan berkurang seiring dengan bertambahnya luas penampang kabel penghantar. Oleh karena itu, semakin panjang penghantar dan tinggi beban semakin banyak pula *Jatuh* tegangan pada jaringan. Dan luas penampang akan menentukan kuat hantar arus jaringan tersebut.

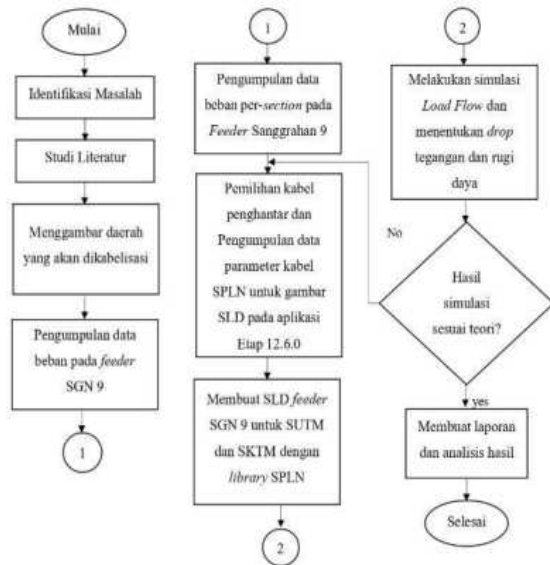
Berdasarkan data diatas, pemilihan jaringan menggunakan Saluran Kabel Bawah Tegangan Menengah (SKTM) menjadi pilihan yang efektif dalam pembangunan wilayah KSPN. Oleh karena itu, dianalisis jatuh tegangan terhadap rugi daya antara SUTM dan SKTM sebagai bahan perbandingan dalam segi keandalan sistem bagi sistem distribusi tenaga listrik dengan menggunakan ETAP.

## 2. METODOLOGI

Penelitian mengenai analisis perencanaan pembangunan jaringan berdasarkan kabelisasi SUTM menjadi SKTM di wilayah KSPN



Borobudur berbasis *software* ETAP ini dilakukan dengan tahapan gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

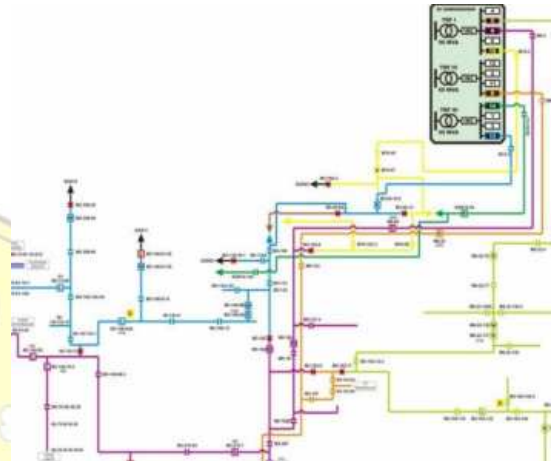
Berdasarkan *flowchart* penelitian, metode yang digunakan pada penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi data yang akan diperlukan dalam simulasi perhitungan jatuh tegangan dan rugi daya, dan dilanjutkan dengan mengumpulkan data-data pengukuran seperti besar beban per-*section* sampai jarak masing-masing *section* yang dapat diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP Borobudur. Setelah mendapatkan beberapa data, dilakukan pemodelan jaringan dengan *software* ETAP sesuai SLD di lapangan dan memasukkan setting data beban sesuai yang didapatkan di lapangan.

Setelah memasukkan data tersebut ke dalam *software* ETAP, disimulasikan dengan fitur *load flow*. Kemudian hasil dari simulasi akan dibandingkan dengan perhitungan manual untuk memperoleh besar jatuh tegangan yang akurat. Dan dilakukan analisis apakah untuk jatuh tegangan sebelum dan sesudah dilakukan kabelisasi memiliki perbedaan pada hasil jatuh tegangannya atau tidak, dan kemudian dilakukan kesimpulan untuk hasil yang lebih efektif dan juga efisien dalam mengurangi jatuh tegangan.

Hasil simulasi perangkat lunak ETAP dilakukan untuk mengetahui langkah awal dalam perancangan kebalisasi SUTM menjadi SKTM dengan jenis kabel dan luas penampang yang berbeda. Kondisi ini akan dibandingkan dengan standart PLN untuk perencanaan secara *real* di lapangan. Dengan data perencanaan sebelum kabelisasi menggunakan konstruksi

SUTM dengan diameter kabel 240 mm<sup>2</sup> dan setelah kabelisasi menggunakan konstruksi SKTM dengan diameter 300 mm<sup>2</sup>.

Sesuai dengan perencanaan pekerjaan yang akan direalisasikan, kegiatan kabelisasi hanya akan dilakukan pada wilayah KSPN Borobudur. Gambar 2 memperlihatkan SLD Borobudur pada penyulang Sanggrahan 9. Namun pekerjaan kabelisasi hanya dilakukan dari M3-210-7 s/d Candi Borobudur.



Gambar 2. SLD Diagram Borobudur

Lokasi pekerjaan kabelisasi SUTM menjadi SKTM dilakukan di daerah KSPN Borobudur yaitu berlokasi dari Jalan Raya Borobudur sampai Tugu Pasar Borobudur dengan jarak kurang lebih 6 km, terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Pekerjaan Rekonstruksi

Beberapa data yang dikumpulkan untuk kebutuhan parameter pada *software* ETAP.

a. Data Pengukuran Beban Pada Trafo Gardu Induk Sanggrahan 9

Pada GI Sanggrahan terdapat 3 trafo yaitu, trafo 3, trafo 1, dan trafo 4. Dimana pada setiap trafo terbagi atas beberapa penyulang. Pada penelitian ini dimasukkan beban semua penyulang untuk mendapatkan hasil yang maksimal melalui tabel 1.

Tabel 1. Data pengukuran beban GI Sanggrahan 9

Trafo	Penyulang	Beban (Ampere)			Rata-rata (Ampere)	Daya Semu (MVA)
		R	S	T		
TRAFO 3	SGN 1	93	89	87	90	3,114
	SGN 3	133	150	135	139	4,809
	SGN 13	192	198	201	197	6,816
	SGN 14	242	271	262	258	8,926
TRAFO 1	SGN 4	52	57	60	56	1,937
	SGN 5	242	263	284	263	9,099
	SGN 6	174	183	175	177	6,124
	SGN 9	243	242	237	241	8,338
	SGN 10	147	147	136	143	4,947
TRAFO 4	SGN 2	162	153	172	162	5,605
	SGN 8	215	171	186	191	6,608
	SGN 11	239	249	226	238	8,608
	SGN 12	82	88	71	80	2,768

Dari tabel 1 kemudahan dilakukan perhitungan daya semu untuk memenuhi perhitungan data yang akan diinputkan ke dalam ETAP. Hasil perhitungan daya semu pada tiap-tiap penyulang merupakan hasil besarnya beban yang terhitung pada tiap-tiap penyulang tersebut.

b. Data Pengukuran Beban Peralatan JTM Pada Penyulang Sanggrahan 9

Data pengukuran beban peralatan JTM penyulang Sanggrahan 9 meliputi peralatan switching (LBS, Recloser, dan ABSW). Peralatan LBS dan Recloser didapatkan pada *dispatcher* pada PT. PLN (Persero) UP3 Magelang dikarenakan sudah terukur langsung pada VSLD (*Virtual Single Line Diagram*). Peralatan ABSW dengan pengukuran langsung di lapangan. Data pengukuran peralatan JTM seperti (LBS, Recloser, dan ABSW) diperhitungkan menjadi data dasar dalam perhitungan masing-masing beban pada peralatan.

Tabel 2. Data Pengukuran Beban Peralatan JTM Penyulang Sanggrahan 9

Feeder	No. Tiang	Beban (Ampere)			Rata-rata (Ampere)
		R	S	T	
SANGGRAHAN 9	PMT	266	291	260	272,3
	ABSW M9-02	241	233	236	236
	REC M9-65	195	196	200	197
	ABSW M9-127	180	187	179	186
	ABSW M9-161	170	181	167	172,7
	ABSW M9-192	150	175	159	161,3
	ABSW M3-207	130	149	138	139
	REC M3-210-7	97	109	70	92
	ABSW M3-210-54	65,3	68,5	68	68,6
	ABSW M3-146-68-3	48,7	68,1	55,7	57,5
	LBS M3-146-85	36	44	39	119
	M3-93-4A	0	0	0	0

c. Perhitungan Beban Per-Section Pada Penyulang Sanggrahan 9

Tabel 3. Perhitungan Beban Per-Section Pada Penyulang Sanggrahan 9

No. Tiang	Nama Section	Beban Section (Ampere)			Rata-rata (Ampere)
		R	S	T	
PMT SGN 9	PMT SGN 9 s/d ABSW M9-02	25	58	24	35,6
ABSW M9-02	ABSW M9-02 s/d REC M9-65	46	37	36	39,6
REC M9-65	REC M9-65 s/d ABSW M9-127	15	9	21	15
ABSW M9-127	M9-127 s/d ABSW M9-161	10	6	12	9,3
ABSW M9-161	ABSW M9-161 s/d ABSW M9-192	20	6	8	11,3
ABSW M9-192	ABSW M9-192 s/d ABSW M3-207	20	26	21	67
ABSW M3-207	ABSW M3-207 s/d REC M3-210-7	33	40	68	47
REC M3-210-7	REC M3-210-7 s/d ABSW M3-210-54	31,7	40,5	2	74,29
ABSW M3-210-54	ABSW M3-210-54 s/d ABSW M3-146-68-3	16,6	0,4	12,3	9,76
ABSW M3-146-68-3	ABSW M3-146-68-3 s/d LBS M3-146-85	12,7	24,1	16,7	17,83
LBS M3-146-85	LBS M3-146-85 s/d M3-93-4A	36	44	39	119

d. Data Panjang Dan Beban Jaringan Per-Section

Tabel 4. Data Panjang Dan Beban Jaringan Per-Section

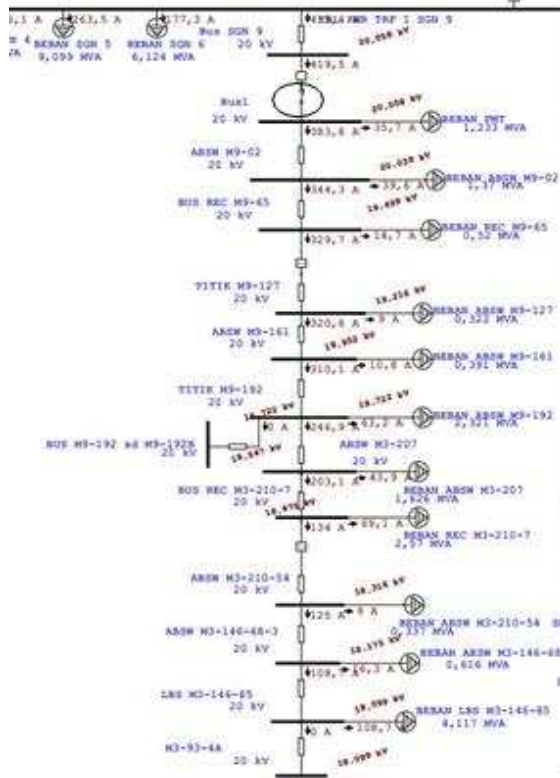
No. Tiang	Nama Section (ID)	Panjang Awal (meter)	Panjang Akhir (meter)	Panjang Total (meter)	Beban (MVA)
PMT SGN9	PMT SGN9 s/d ABSW M9-02	0	2	100	1,231
ABSW M9-02	ABSW M9-02 s/d REC M9-65	2	65	3150	1,370
REC M9-65	REC M9-65 s/d ABSW M9-127	65	127	1750	0,519
ABSW M9-127	M9-127 s/d ABSW M9-161	127	161	1760	0,321
ABSW M9-161	ABSW M9-161 s/d ABSW M9-192	161	192	1550	0,390
Titik M9-192	Titik M9-192 s/d ABSW M9-192B	0	2	100	-
ABSW M9-192	ABSW M9-192 s/d ABSW M3-207	-	-	1500	2,318
ABSW M3-207	ABSW M3-207 s/d REC M3-210-7	-	-	750	1,626
REC M3-210-7	REC M3-210-7 s/d ABSW M3-210-54	-	-	2500	2,570
ABSW M3-210-54	ABSW M3-210-54 s/d ABSW M3-146-68-3	-	-	2400	0,337
ABSW M3-146-68-3	ABSW M3-146-68-3 s/d LBS M3-146-85	-	-	1500	0,616

Pada tabel 4 data panjang dan beban jaringan per-section merupakan data yang dimasukkan langsung pada parameter ETAP.

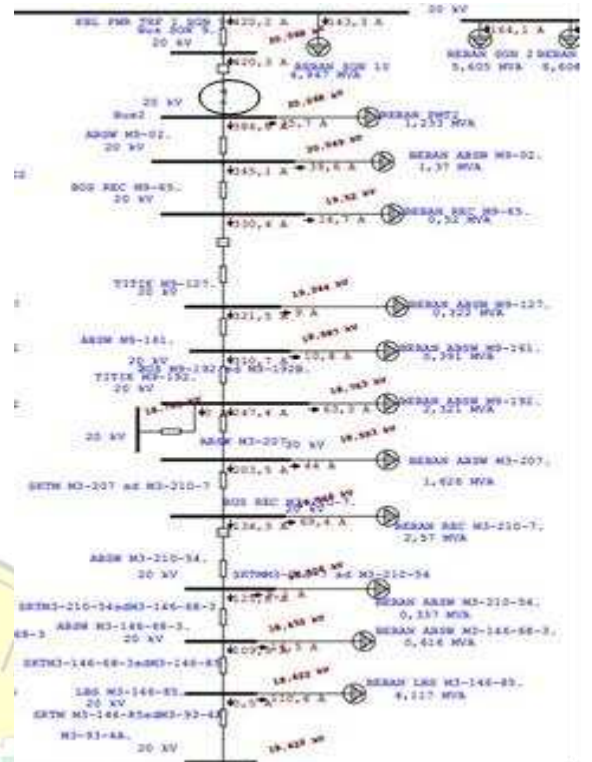


### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan membahas 2 faktor utama untuk membandingkan hasil simulasi *load flow* dalam mengetahui kualitas masing-masing jenis sistem jaringan distribusi. Terdapat 2 faktor utama yaitu jatuh tegangan dan rugi daya dari masing-masing jenis sistem jaringan distribusi. Gambar 4 dan 5 merupakan gambar SLD sebelum dan sesudah dilakukan simulasi dimana kedua gambar ini dilakukan dengan menambahkan PMT pada kedua sisinya seperti yang terlihat pada tanda lingkaran di gambar 4, sehingga ketika ingin melakukan simulasi pada salah satu kondisi maka yang lainnya akan dalam kondisi *open* dan sebaliknya. Dalam pembuatan SLD dengan penghantar SUTM dan SKTM tidak memiliki banyak perbedaan hanya terdapat pada parameter dan juga jenis penghantar yang digunakan.



Gambar 4. SLD Simulasi Sebelum Kabelisasi



Gambar 5. SLD Simulasi Sesudah Kabelisasi

$$V_{F-F} = 20 \text{ kV}$$

$$V_{F-N} = V_{F-F} / \sqrt{3}$$

$$= 20 \text{ kV} / \sqrt{3}$$

$$= 11,5 \text{ kV.}$$

Perhitungan dengan pola jaringan loop dan radial batas bawah jatuh tegangan 5% dari tegangan kerja, sebesar:

$$\Delta V_{F-N} (\text{SPLN}) = \frac{5}{100} \times 11,5$$

$$= 0,575 \text{ Kv}$$

$$V_{F-N} (\text{SPLN}) = 11,5 - 0,575$$

$$= 10,925 \text{ Kv}$$

$$V_{F-F} (\text{SPLN}) = \sqrt{3} \times 10,925$$

$$= 18,900 \text{ kV}$$

Perhitungan jatuh tegangan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah tidak lebih besar dari 10% dari tegangan nominal, sehingga batas minimum tegangan di ujung sebesar 18 kV dan batas maksimum tegangan di ujung sebesar 22 kV.

$$\Delta V_{F-N} (\text{SPLN}) = 10\%$$

$$= \pm 2 \text{ Kv}$$

$$V_{F-N} (\text{SPLN}) = 10,4 \text{ kV}$$

$$V_{F-F} (\text{SPLN}) = \sqrt{3} \times 10,4 \text{ kV}$$

$$= 18 \text{ kV}$$

Tabel 5. Standar Jatuh Tegangan dan Minimum Tegangan Ujung SPLN

Menurut SPLN No 72 Tahun 1987 (5%)		Menurut SPLN No 16. 001 Tahun 2013 (10%)	
Batas Bawah <i>drop</i> Tegangan (kV)	Batas Tegangan Ujung (kV)	Batas Bawah <i>drop</i> Tegangan (kV)	Batas Tegangan Ujung (kV)
0,575	18,900	2	18



Gambar 6. Grafik jatuh tegangan berdasarkan simulasi

Analisis jatuh tegangan berdasarkan perhitungan terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik Jatuh Tegangan Berdasarkan Perhitungan

Hasil perbandingan jatuh tegangan berdasarkan perhitungan terlihat pada tabel 6.

Table 6. Perbandingan Hasil Jatuh Tegangan Berdasarkan Perhitungan

Hasil Jatuh Tegangan Sebelum Kabelisasi	Hasil Jatuh Tegangan Setelah Kabelisasi
1,055 kV	0,869 kV

Hasil perbandingan jatuh tegangan berdasarkan perhitungan terlihat pada tabel 7.

Table 7. Perbandingan Hasil Jatuh Tegangan Berdasarkan Simulasi

Hasil Jatuh Tegangan Sebelum Kabelisasi	Hasil Jatuh Tegangan Setelah Kabelisasi
1,884 kV	1,646 kV

Perhitungan Rugi Daya Berdasarkan Simulasi

Hasil simulasi ETAP rugi daya pada *report manager* pada tiang M9- 127 sd M9-161 terlihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Hasil Perhitungan Rugi Daya

Penyulang	Hasil Simulasi ETAP		Hasil Perhitungan	
	Hasil Perhitungan Rugi Daya Sebelum Kabelisasi (kW)	Hasil Perhitungan Rugi Daya Setelah Kabelisasi (kW)	Hasil Perhitungan Rugi Daya Sebelum Kabelisasi (kW)	Hasil Perhitungan Rugi Daya Setelah Kabelisasi (kW)
SGN 9	675.4	643.4	924,612	770,909
Hasil Perhitungan Rugi Daya	32 kW		153,703 kW	

Hasil perhitungan rugi daya dengan simulasi dengan ETAP sebesar 32 kW, sedangkan berdasarkan perhitungan didapatkan hasil 153,703 kW. Adanya perbedaan dikarenakan beberapa faktor yang mempengaruhi pada hasil simulasi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi jatuh tegangan saat sebelum dan sesudah kabelisasi masing-masing sebesar 1,055 kV dan 0,869 kV. Sedangkan berdasarkan hasil rugi daya sebelum dan sesudah kabelisasi 675.4 kW dan 643.4 kW. Keuntungan dengan adanya kabelisasi ini menekan/menyelamatkan kWh sebesar 32 kW/bulan.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Wahid, M. S., Nisworo, S., & Pravitasari, D. (2021). *Perencanaan Saluran Listrik Bawah Tanah Tegangan Rendah Pada Bangunan Rumah Sakit Hijau*. THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering.

[2] Medina, D., & Ratnata, I. W. (2021). *Analisis Jatuh Tegangan Jaringan Distribusi 20 kV pada Penyulang CPK PT. PLN (Persero) UP3 Bandung*.

[3] Suwasana, O. A. (2018). *Rekonfigurasi Jaringan Dan Analisis OCR PMT Outgoing Penyulang BRG 02 Menggunakan ETAP*. Laporan Proyek Akhir.

[4] PT. PLN (Persero). (2010). *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*.

[5] Siregar, D. (2011). *Studi Pemanfaatan Distributed Generation (DG) Pada Jaringan Distribusi*

[6] Kosasih, G. (2017). *Analisa rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150kv pada gardu induk jajar-gondangrejo*.

[7] Prasetyono, H. (2010). *Standar konstruksi jaringan tegangan menengah tenaga listrik*.

[8] PT. PLN (Persero). (2010). *Buku 5: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik*. Jakarta : PT PLN (Persero).

[9] Rizky, A., Suryanto, R., Patras, L., & Tumaliang, H. (2021). *Kajian Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) Studi Kasus Kawasan Megamass Kota Manado*.

[10] Salim, A., Rizal Sultan, A., & Akmal, A. (2021). *Analisis perbandingan sistem saluran kabel udara tegangan menengah (skutm) dan saluran kabel tanah tegangan menengah (sktm)*.

[11] Setiawan, A., & Priatama, A. (2021). *Analisa Rugi-rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv di PLN Sungguminasa*.

[12] Simangunsong, P. (2021). *Prosedur Pekerjaan*

*Saluran Kabel Tanam Tegangan Menengah 20 Kv (SKTM 20 Kv) Berbasis Kehandalan Dan Keamanan.*

