

## Rugi Daya Dan Energi Akibat Korona Pada Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 Kv

Muhamad Haddin<sup>1</sup>, Agil Bahtiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

### Informasi Artikel

Naskah Diterima : 11 November 2017

Direvisi : 20 Desember 2017

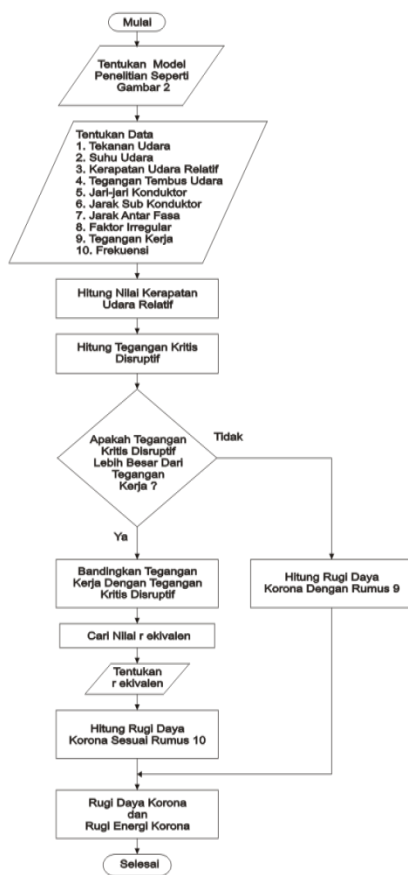
Disetujui : 24 Desember 2017

\*Korespondensi Penulis :

haddin@unissula.ac.id,

agil.bahtiar@gmail.com,

### Graphical abstract



### Abstract

The use of extra high voltage in electrical power transmission system causing corona. A visual corona phenomenon shown by the appearance of visible light radiation, hissing noise, ozone formation and power losses. The impact of corona affect the environment surrounding the overhead line transmission and power losses in the line. This research discusses power and energy losses due to corona by using quantitative method. Calculations performed by calculating relative air density values, disruptive critical voltages, power losses and corona energy. The research object was taken by extra high voltage overhead line transmission 500kV Tanjung Jati B Power Plant to Ungaran Substation. The result show that corona power losses are 0.41-0.44 kW/mil (0.25-0.27kw/km) per phase, with total 1.25-1.30kW/mil (0.78-0.81k/w/km). corona power losses 107.57-112.08 kW along of line. Average of corona energy losses obtained 2642.67 kWh. The percentage of corona power losses to electrical power supplied is between 0.005% to 0.011%.

**Keywords:** Power Losses, Corona, EHV 500KV.

### Abstrak

Penggunaan tegangan ekstra tinggi dalam sistem transmisi tenaga listrik menyebabkan terjadinya korona. Fenomena korona secara visual diperlihatkan dengan munculnya cahaya keunguan, suara bising, terbentuknya ozon, dan menyebabkan kerugian daya. Dampak korona berpengaruh terhadap lingkungan sekitar saluran transmisi dan rugi daya pada saluran. Penelitian ini membahas tentang rugi daya dan energi akibat korona dengan menggunakan metode kuantitatif. Perhitungan dilakukan dengan menghitung nilai kerapatan udara relatif, tegangan kritis disruptif, rugi daya dan energi korona. Obyek penelitian diambil saluran tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Tanjung Jati B Jepara-Ungaran. Hasil menunjukkan bahwa rugi daya korona setiap fasa 0.41-0.44 kW/mil (0.25-0.27 kW/km)), dengan total 1.25-1.30 kW/mil (0.78-0.81 kW/km), sedangkan rugi daya korona sepanjang saluran 107.57 kW hingga 112.08 kW. Sehingga diperoleh rugi energi korona rata-rata 2642.67 kWh. Persentase rugi daya korona terhadap daya listrik yang disalurkan bernilai antara 0.005% hingga 0.011 %.

**Kata kunci:** Rugi Daya, Energi, Korona, SUTET 500 kV

© 2017 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan tegangan ekstra tinggi dalam sistem transmisi tenaga listrik menyebabkan terjadinya korona. Korona merupakan gejala hilangnya sifat isolasi pada udara, bisa disebut juga udara mengalami kegagalan. Fenomena terjadinya korona secara visual diperlihatkan dengan munculnya cahaya keunguan, suara bising, terbentuknya ozon, dan menyebabkan terjadinya kerugian daya. Tentunya dampak tersebut berpengaruh terhadap lingkungan sekitar saluran dan kerugian daya tentunya berdampak pada saluran.

Penelitian tentang rugi korona pada saluran transmisi telah dilakukan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 150 kV[1]. Penelitian ini memfokuskan tentang rugi daya dan energi akibat korona pada saluran transmisi dengan tegangan operasi 500 kV atau disebut Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET). Sebagai obyek penelitian diambil SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Ungaran.

Korona didefinisikan sebagai peluahan diri berkelanjutan pada medan ionisasi intensif yang terlokalisasi pada jarak diantara elektroda. Karenanya korona ditandai dengan peluahan yang dipancarkan dari batas luar konduktor ketika medan listrik pada permukaan konduktor melebihi batas medan disruptif (*disruptif field*) udara disekitar konduktor. Fenomena ini terjadi pada setiap konduktor, berapapun diameternya, apabila membawa (dibebani) tegangan ekstra tinggi. Fenomena ini menghasilkan kerugian daya, distorsi pada bentuk gelombang arus listrik dan interferensi pada sistem komunikasi (menyebabkan distorsi pada penerima gambar televisi), suara bising, letupan cahaya yang dapat dilihat pada saat gelap. Pada praktiknya efek dari korona mulai dihitung pada tegangan operasi diatas 100 kV antar fasa. [2-4].

Tegangan permulaan korona dikenal sebagai Tegangan yang berhubungan dengan gradien potensial. Hal ini bergantung pada (a) kondisi atmosfer, (b) kondisi permukaan konduktor dan (c) konfigurasi dari konduktor. Kekuatan dielektrik dari udara adalah berbanding lurus dengan kerapatan udara relative ( $\delta$ ) yaitu,

$$\delta = \frac{0.386 p}{(273+t)} \quad (1)$$

dengan

$p$  = tekanan udara (mmHg)

$t$  = temperatur udara ( $^{\circ}$  C)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Evangelista Torricelli tekanan udara diatas permukaan laut adalah 76 cmHg dan akan berkurang 1 cmHg setiap kenaikan 100 meter[5]. Untuk visual korona di udara Peek telah memberikan rumus hubungan empiris untuk gradien potensial pada permukaan konduktor. Rumus empiris Peek yaitu.

$$g_v = m_v \delta r \left( 1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \text{ kV/cm} \quad (2)$$

dengan

$g_v$  = gradien potensial (kV)

$m_v$  = faktor iregular

= 1.0 untuk konduktor mengkilat

= 0.98 – 0.93 untuk konduktor kotor akibat kondisi atmosfer

= 0.72 untuk korona local pada konduktor serabut (*stranded*)

$r$  = jari-jari konduktor (cm)

$\delta$  = faktor kerapatan udara relatif

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai gradien potensial pada udara,  $g = 30$  kV/cm. Maka diperoleh rumus (3).

$$V_v = 30 m_v \delta r \left( 1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}} \right) \ln \frac{D}{r} \quad (3)$$

dengan

$V_v$  = tegangan visual korona (kV)

$m_v$  = faktor iregular

= 1.0 untuk konduktor mengkilat

= 0.98 – 0.93 untuk konduktor kotor akibat kondisi atmosfer

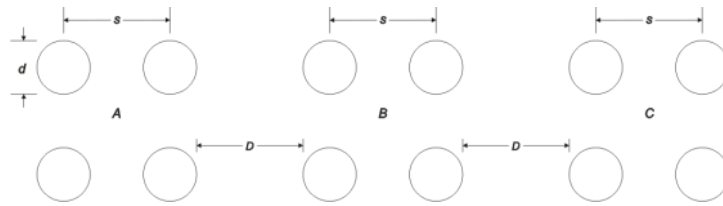
= 0.72 untuk korona local pada konduktor serabut (*stranded*)

$r$  = jari-jari konduktor (cm)

$\delta$  = faktor kerapatan udara relative

$D$  = jarak antar fasa (cm)

Konfigurasi dari konduktor yang digunakan pada tegangan kerja 500 kV Penelitian ini yaitu konduktor berkas dengan empat buah sub-konduktor konfigurasi persegi.



Gambar 1 Konduktor Berkas Empat Sub-Konduktor Persegi

Konfigurasi pada Gambar 1 menghasilkan sebuah rumus

$$g_m = \frac{V}{4r \frac{1}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}}} = g_v \quad (4)$$

$$V_v = g_v \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh rumus tegangan visual korona

$$V_v = g_v m_v \left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\alpha_{eq}}}\right) \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \quad (6)$$

dengan

$$\alpha_{eq} \ln \left(\frac{D}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}} \quad (7)$$

dengan,

- $g_v$  = gradient potensial (kV/cm)
- $V_v$  = tegangan visual korona (kV)
- $m_v$  = faktor iregular
- $r$  = jari-jari konduktor (cm)
- $D$  = jarak antar fasa (cm)
- $s$  = jarak sub-konduktor (cm)
- $\alpha_{eq}$  = jari-jari ekivalen (cm)

Nilai  $\left(1 + \frac{0.301}{\sqrt{\delta r}}\right)$  merupakan variabel dalam menentukan tegangan visual korona ( $V_v$ ), untuk menentukan tegangan kritis disruptif ( $V_d$ ) maka variabel tersebut tidak diikutsertakan[3].

Peek[4] memberikan persamaan rugi daya akibat korona pada kondisi udara yang baik adalah sebagai berikut,

$$P_c = \frac{390}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D} (V - V_d)^2} \times 10^{-5} \text{ kW/mil/fasa} \quad (8)$$

$$P_c = \frac{390}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{D} (V - V_d)^2} \times 10^{-5} \text{ kW/km/fasa} \quad (9)$$

dengan

- $V$  = tegangan operasi saluran per fasa (kV)
- $V_d$  = tegangan kritis disruptif per fasa (kV)
- $f$  = frekuensi yang digunakan (Hz)

Perkiraan kerugian dalam kondisi cuaca buruk diperoleh dengan mengambil  $V_d$  sebanyak 0.8 kali dari kondisi cuaca yang baik. Pembatasan pada Persamaan (8) dan (9) adalah:

- a) Rentang frekuensi antara 25-125 Hz
- b) Jari-jari konduktor lebih besar dari 0.25cm
- c) Rasio  $V/V_d$  harus lebih dari 1.8
- d) Persamaan ini berlaku untuk kondisi cuaca yang baik, dan kelembaban tidak boleh terlandu rendah.

Rumus Peek[4] hanya berlaku bila kerugian korona dominan dan tidak berlaku apabila kerugian terlalu rendah. Ketika rasio ( $V/V_d$ ) kurang dari 1.8, rumus Peterson memegang peranan lebih baik [3-4].

$$P_c = \left[ \frac{33.7 \times 10^{-6} f V^2}{\left[ \log\left(\frac{D}{r}\right) \right]^2} \right] F \text{ kW/mil/konduktor} \tag{10}$$

dengan  $F$  merupakan faktor yang bervariasi terhadap rasio  $V/V_d$  yang ditunjukkan pada Tabel 1.

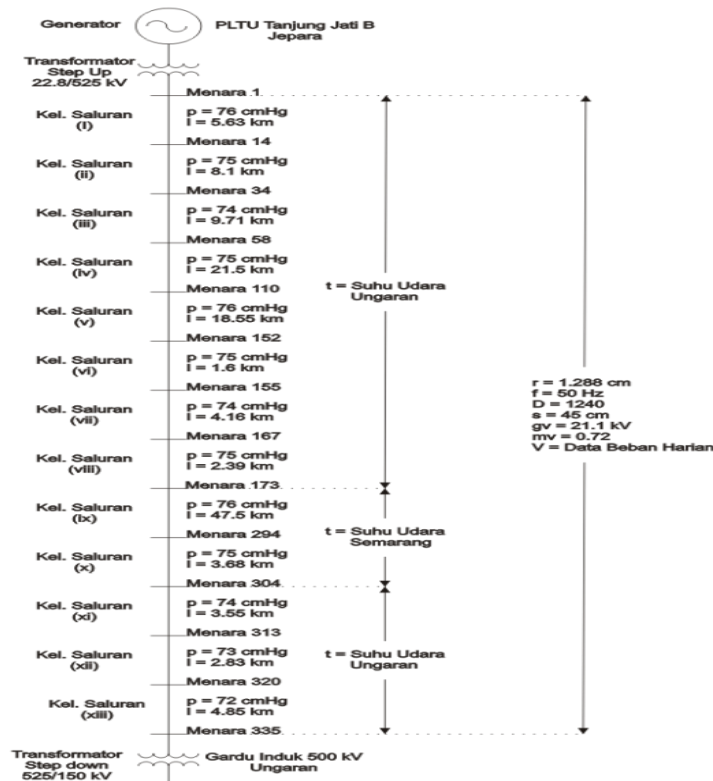
Tabel 1 Rasio  $V/V_d$

$V/V_d$	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2
$F$	0.012	0.018	0.05	0.08	0.3	1	3.5	6	8

Berdasarkan latar belakang dan landasan teori yang telah diperoleh maka tujuan dari Penelitian ini adalah menghitung besaran nilai korona dan menghitung kerugian daya akibat korona yang terjadi sepanjang SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Pusat Beban Ungaran.

## 2. METODE PENELITIAN

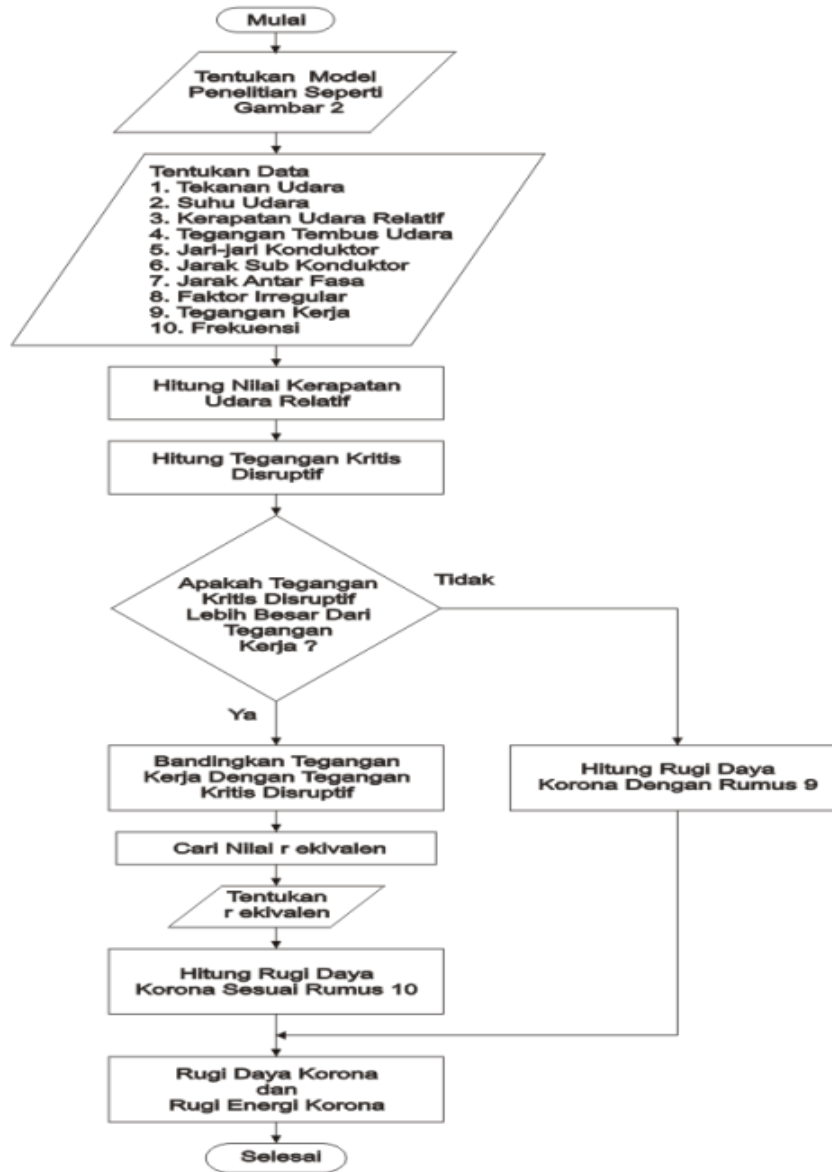
Model dari penelitian ditunjukkan oleh diagram garis transmisi Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500kV Tanjung Jati B Jepara menuju Gardu Induk Pusat Beban Ungaran seperti yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2 Model Penelitian SUTET 500 kV Jepara – Ungaran



Gambar 2 memperlihatkan bahwa saluran transmisi 500kV dari Jepara sampai Ungaran terbagi kedalam beberapa bagian kelompok saluran. Kelompok saluran terbagi berdasarkan letak ketinggian menara transmisi dari atas permukaan laut guna menentukan variabel tekanan udara. Gambar 2 juga menjelaskan variabel-variabel yang menunjukkan spesifikasi dari masing-masing kelompok saluran. Alur penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Alur Penelitian SUTET 500 kV Jepara – Ungaran

Data dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Tabel 2 sampai dengan 5.

Tabel 2 Data Saluran Transmisi

Jenis kabel saluran transmisi	ACSR tipe Gannet A= 392.84 mm <sup>2</sup> , r= 12.88 mm
Jumlah sikuit	sirkuit <i>double</i> 3 fasa
Panjang saluan transmisi	134.8 km
Jumlah konduktor dalam satu bundle	4
Jarak antar konduktor dalam satu bundle	45 cm
Jarak antar koduktor	12.4 m
Tinggi Tower	60 m

Tabel 3 Data Tekanan Udara dan Jarak Konduktor

Kelompok Saluran	Nomer Tower	Tekanan	Jarak	Kabupaten
		(cmHg)	(km)	
i	1-14	76	5.63	Jepara
ii	15-34	75	8.1	Jepara
iii	35-58	74	9.71	Jepara
iv	59-110	75	21.5	Jepara
v	111-152	76	18.55	Kudus
vi	153-155	75	1.6	Pati
vii	156-167	74	4.16	pati
viii	168-173	75	2.39	Pati
ix	174-294	76	47.5	Purwodadi
x	295-304	75	3.68	Demak
xi	305-313	74	3.55	Ungaran
xii	314-320	73	2.83	Ungaran
xiii	321-335	72	4.85	Ungaran

Tabel 4 Data Daya, Tegangan dan Suhu Harian Bulan Januari

Tanggal	Total daya	Daya	V In A	V In B	V In C	Suhu Udara (°C)	
	MW	MWH	kV	kV	kV	Ungaran	Semarang
1-Jan-17	29755.66	1239.82	289.73	292.25	288.61	26.65	28.1
2-Jan-17	40827.21	1701.13	293.06	295.53	291.11	25.3	27.2
3-Jan-17	45839.85	1909.99	293.69	296.06	291.28	25.65	27.3
4-Jan-17	46117.90	1921.58	292.87	295.17	290.50	24.55	27.2
5-Jan-17	55769.14	2323.71	292.17	294.21	289.21	26.55	28.1
6-Jan-17	56470.98	2352.96	290.70	292.83	287.62	25.3	26.6
7-Jan-17	53719.87	2238.33	288.23	290.38	285.33	26.25	28.3
8-Jan-17	52659.65	2194.15	288.74	291.00	286.05	27.55	28.8
9-Jan-17	55760.99	2323.37	291.58	293.73	288.51	25.1	27.8
10-Jan-17	57091.76	2378.82	291.55	293.59	288.39	27.3	27.4
11-Jan-17	55437.30	2309.89	292.45	294.57	289.52	27.4	28.4
12-Jan-17	55326.75	2305.28	292.81	294.91	289.86	26.6	29.1
13-Jan-17	57541.40	2397.56	292.54	294.55	289.30	23.85	28
14-Jan-17	51291.11	2137.13	288.25	290.30	285.54	24.5	26.7
15-Jan-17	41918.71	1746.61	290.02	292.06	287.78	23.15	26.1
16-Jan-17	50856.67	2119.03	291.44	293.47	288.74	24.45	26.4
17-Jan-17	56896.51	2370.69	291.05	293.17	288.05	24.15	26.7
18-Jan-17	49791.06	2074.63	291.94	294.00	289.35	25.25	27.2
19-Jan-17	49531.74	2063.82	292.37	294.43	289.78	23.4	27.6
20-Jan-17	54146.91	2256.12	290.93	293.02	288.00	23.2	27.5
21-Jan-17	55049.73	2293.74	291.99	294.09	289.08	24.3	27.7
22-Jan-17	48951.98	2039.67	290.51	292.76	288.15	25.5	27.8
23-Jan-17	55590.58	2316.27	294.06	296.13	291.25	23.95	27.2
24-Jan-17	58594.78	2441.45	293.07	295.02	289.80	24.5	27.3
25-Jan-17	58783.35	2449.31	292.24	294.23	289.00	25.2	27.5
26-Jan-17	58315.09	2429.80	292.63	294.60	289.38	23.75	26
27-Jan-17	56081.39	2336.72	290.95	293.08	287.84	25.7	27.7
28-Jan-17	40414.44	1683.94	288.79	290.89	286.77	24.8	27
29-Jan-17	36240.96	1510.04	290.17	292.21	288.56	25.55	26.3
30-Jan-17	50433.99	2101.42	291.46	293.49	288.92	25.95	27
31-Jan-17	53571.66	2232.15	291.73	293.75	288.82	24.9	27.5

Tabel 5 Hasil Pengukuran Korona SUTET 500 kV Tanjung Jati – Ungaran

NO	PENGUKURAN		NOTWR	NOLINE	LOKASI	COUNTRATE/MNT			KONDISI	
	TGL	JAM				R	S	T	SUHU (°C)	CUACA
1	14-Aug-12	13.12	48	1	Isolator suspension Line 1	780	2340	640	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	110	750	34.6	
2	14-Aug-12	13.19	49	1	Isolator suspension Line 1	20	60	20	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	20	20	34.6	
5	14-Aug-12	11.32	50	1	Isolator Tentension ke Tj.Jati	60	430	350	38.8	Terang
					Isolator Tentension ke Ungaran	220	180	70		
				2	Isolator Tentension ke Tj.Jati	100	360	910	36.5	
					Isolator Tentension ke Ungaran	70	80	160		
4	14-Aug-12	11.36	51	1	Isolator suspension Line 1	130	820	1230	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	110	20	110	34.6	
5	14-Aug-12	12.14	52	1	Isolator suspension Line 1	20	10	160	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	100	40	50	34.6	
6	14-Aug-12	12.20	53	1	Isolator suspension Line 1	210	60	160	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	50	1380	30	34.6	
7	14-Aug-12	12,47	54	1	Isolator suspension Line 1	20	20	0	37	Terang
				2	Isolator suspension Line 2	20	20	20	34.6	

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kerapatan Udara Relatif

Nilai kerapatan udara relatif menjadi faktor yang mempengaruhi terjadinya korona, karena korona terjadi pada udara disekitar konduktor saluran. Kerapatan udara relatif dipengaruhi oleh suhu udara dan tekanan udara pada sekitar konduktor. Dalam mencari kerapatan udara digunakanlah aplikasi *elevation profile* dari google earth sehingga diperoleh data pengelompokan saluran sebagai berikut.

Tabel 6 Data Pengelompokan Saluran

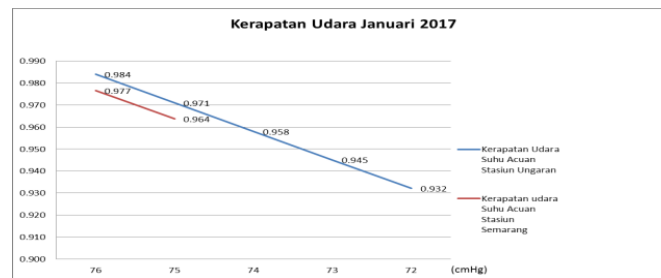
Kelompok Saluran	Nomer Menara Saluran	Tekanan	Jarak	Suhu Acuan
		(cmHg)	(km)	
i	1-14, 111-152	76	24.18	Stasiun Ungaran
ii	15-34, 59-110, 153-155, 168-173	75	33.59	Stasiun Ungaran
iii	35-58, 156-167, 305-313	74	17.42	Stasiun Ungaran
iv	314-320	73	2.83	Stasiun Ungaran
v	321-335	72	4.85	Stasiun Ungaran
vi	174-294	76	47.5	Stasiun Semarang
vii	295-304	75	3.68	Stasiun Semarang

Dari data suhu harian dan tekanan udara diperoleh nilai kerapatan udara sebagai berikut ini.

Tabel 7 Kerapatan Udara Relatif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Kerapatan Udara Relatif						
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)
1-Jan-17		0.979	0.966	0.953	0.940	0.927	0.974	0.961
2-Jan-17		0.983	0.970	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964
3-Jan-17		0.982	0.969	0.956	0.944	0.931	0.977	0.964
4-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.977	0.964
5-Jan-17		0.979	0.966	0.954	0.941	0.928	0.974	0.961
6-Jan-17		0.983	0.970	0.958	0.945	0.932	0.979	0.966
7-Jan-17		0.980	0.967	0.955	0.942	0.929	0.974	0.961
8-Jan-17		0.976	0.963	0.950	0.938	0.925	0.972	0.959
9-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.975	0.962
10-Jan-17		0.977	0.964	0.951	0.938	0.925	0.977	0.964
11-Jan-17		0.977	0.964	0.951	0.938	0.925	0.973	0.961
12-Jan-17		0.979	0.966	0.953	0.941	0.928	0.971	0.958
13-Jan-17		0.988	0.975	0.962	0.949	0.936	0.975	0.962
14-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.979	0.966
15-Jan-17		0.991	0.978	0.965	0.951	0.938	0.981	0.968
16-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.980	0.967
17-Jan-17		0.987	0.974	0.961	0.948	0.935	0.979	0.966
18-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964
19-Jan-17		0.990	0.977	0.964	0.951	0.938	0.976	0.963
20-Jan-17		0.990	0.977	0.964	0.951	0.938	0.976	0.963
21-Jan-17		0.987	0.974	0.961	0.948	0.935	0.976	0.963
22-Jan-17		0.983	0.970	0.957	0.944	0.931	0.975	0.962
23-Jan-17		0.988	0.975	0.962	0.949	0.936	0.977	0.964
24-Jan-17		0.986	0.973	0.960	0.947	0.934	0.977	0.964
25-Jan-17		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.976	0.963
26-Jan-17		0.989	0.976	0.963	0.950	0.937	0.981	0.968
27-Jan-17		0.982	0.969	0.956	0.943	0.930	0.976	0.963
28-Jan-17		0.985	0.972	0.959	0.946	0.933	0.978	0.965
29-Jan-17		0.983	0.970	0.957	0.944	0.931	0.980	0.967
30-Jan-17		0.981	0.968	0.955	0.943	0.930	0.978	0.965
31-Jan-17		0.985	0.972	0.959	0.946	0.933	0.976	0.963
Rata-rata		0.984	0.971	0.958	0.945	0.932	0.977	0.964

Tabel 7 menunjukkan bahwa kerapatan udara kelompok saluran (i) sampai dengan (v) yang menggunakan acuan suhu udara Ungaran mengalami penurunan nilai seiring menurunnya tekanan udara. Begitu juga pada kelompok saluran (vi) dan (vii). Sehingga, hasil perhitungan kerapatan udara rata-rata pada bulan Januari dapat digambarkan seperti Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Kerapatan Udara Bulan Januari 2017

Tabel 7 dan Gambar 4 memperlihatkan nilai kerapatan udara pada suatu tempat akan berkurang seiring bertambahnya ketinggian suatu tempat dari atas permukaan laut. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suatu tempat maka nilai tekanan udara pada tempat tersebut akan semakin menurun. Peningkatan suhu udara menyebabkan nilai kerapatan udara akan semakin menurun, hal ini ditunjukkan pada kedua grafik diatas, bahwa kerapatan udara dengan suhu acuan stasiun Ungaran pada ketinggian permukaan bumi yang sama memiliki suhu yang lebih tinggi dari kerapatan udara dengan suhu acuan stasiun Semarang.

### 3.2 Tegangan Kritis Disruptif

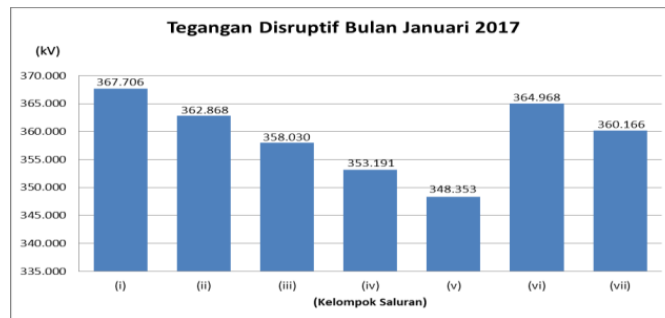
Tegangan kritis disruptif merupakan tegangan dimana korona mulai terjadi. Tegangan kritis disruptif dipengaruhi oleh konfigurasi dari jaringan transmisi dan kondisi udara disekitar jaringan transmisi tersebut. Dari data-data yang ada diperoleh tegangan kritis disruptif sebagai berikut



Tabel 8 Tegangan Kritis Disruptif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Tegangan Kritis Disruptif (kV)						
		(i)	(ii)	(iii)	(iv)	(v)	(vi)	(vii)
1-Jan-17		365.883	361.069	356.255	351.441	346.626	364.121	359.330
2-Jan-17		367.539	362.703	357.867	353.031	348.195	365.213	360.408
3-Jan-17		367.108	362.278	357.448	352.617	347.787	365.091	360.288
4-Jan-17		368.466	363.617	358.769	353.921	349.073	365.213	360.408
5-Jan-17		366.005	361.190	356.374	351.558	346.742	364.121	359.330
6-Jan-17		367.539	362.703	357.867	353.031	348.195	365.944	361.129
7-Jan-17		366.372	361.552	356.731	351.910	347.090	363.880	359.092
8-Jan-17		364.788	359.988	355.188	350.388	345.588	363.277	358.497
9-Jan-17		367.786	362.946	358.107	353.268	348.429	364.485	359.689
10-Jan-17		365.091	360.288	355.484	350.680	345.876	364.970	360.168
11-Jan-17		364.970	360.168	355.365	350.563	345.761	363.759	358.973
12-Jan-17		365.944	361.129	356.314	351.499	346.684	362.916	358.141
13-Jan-17		369.334	364.475	359.615	354.755	349.896	364.242	359.450
14-Jan-17		368.528	363.678	358.829	353.980	349.131	365.822	361.009
15-Jan-17		370.207	365.336	360.465	355.594	350.723	366.556	361.733
16-Jan-17		368.589	363.740	358.890	354.040	349.190	366.189	361.371
17-Jan-17		368.962	364.107	359.252	354.397	349.543	365.822	361.009
18-Jan-17		367.601	362.764	357.927	353.090	348.253	365.213	360.408
19-Jan-17		369.895	365.028	360.161	355.294	350.427	364.727	359.928
20-Jan-17		370.145	365.275	360.404	355.534	350.664	364.848	360.048
21-Jan-17		368.775	363.923	359.071	354.219	349.366	364.606	359.808
22-Jan-17		367.293	362.460	357.627	352.795	347.962	364.485	359.689
23-Jan-17		369.210	364.352	359.494	354.636	349.778	365.213	360.408
24-Jan-17		368.528	363.678	358.829	353.980	349.131	365.091	360.288
25-Jan-17		367.662	362.825	357.987	353.149	348.312	364.848	360.048
26-Jan-17		369.459	364.598	359.736	354.875	350.014	366.679	361.854
27-Jan-17		367.047	362.217	357.388	352.558	347.729	364.606	359.808
28-Jan-17		368.156	363.312	358.468	353.624	348.780	365.456	360.648
29-Jan-17		367.231	362.399	357.567	352.735	347.903	366.311	361.491
30-Jan-17		366.740	361.915	357.089	352.263	347.438	365.456	360.648
31-Jan-17		368.033	363.190	358.348	353.505	348.663	364.848	360.048
Rata-rata		367.706	362.868	358.030	353.191	348.353	364.968	360.166

Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan tegangan kritis disruptif pada bulan Januari. Grafik nilai perhitungan rata-rata setiap kelompok saluran ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Tegangan Disruptif Bulan Januari 2017

Tabel 8 dan Gambar 5 memperlihatkan bahwa nilai tegangan disruptif pada suatu tempat akan berkurang seiring bertambahnya ketinggian suatu tempat dari atas permukaan laut. Semakin tinggi suatu tempat maka nilai tegangan disruptif akan semakin rendah nilainya hal ini dikarenakan semakin tinggi suatu tempat maka nilai kerapatan udara pada tempat tersebut akan semakin menurun.

### 3.3 Perbandingan Tegangan Kritis Disruptif Dengan Tegangan Kerja.

Tabel 9 memperlihatkan perbandingan nilai tegangan kritis disruptif dengan tegangan kerja saluran transmisi 500 kV Jepara ke Ungaran. Nilai tegangan kritis disruptif konfigurasi saluran transmisi memiliki nilai lebih besar daripada tegangan kerja saluran. Kondisi demikian menunjukkan tegangan kerja saluran belum mencapai tegangan kritis disruptif, sehingga belum mencapai tegangan permulaan terjadinya korona. Tabel 5 memperlihatkan hasil pengukuran korona yang pernah



dilakukan oleh pihak APP (Area Pelaksana dan Pemelihara) Semarang bahwa terjadi korona yang bervariasi dari 20 *countrate*/menit sampai dengan 2340 *countrate*/menit. Perbandingan tegangan kritis disruptif dan tegangan kerja ditunjukkan Tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan Tegangan Saluran dengan Tegangan Disruptif Bulan Januari

Tanggal	Kelompok Saluran	Perbandingan Tegangan Saluran dengan Tegangan Disruptif Bulan Januari (kV)								
		(i)			(v)			(vii)		
		ln A	ln B	ln C	ln A	ln B	ln C	ln A	ln B	ln C
1-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
2-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.84	0.81	0.82	0.81
3-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.84	0.85	0.84	0.82	0.82	0.81
4-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.81
5-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
6-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.80	0.81	0.80
7-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.80	0.81	0.79
8-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
9-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
10-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
11-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.85	0.85	0.84	0.81	0.82	0.81
12-Jan-17		0.80	0.81	0.79	0.84	0.85	0.84	0.82	0.82	0.81
13-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
14-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.80	0.79
15-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80
16-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
17-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.81	0.81	0.80
18-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
19-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.82	0.81
20-Jan-17		0.79	0.79	0.78	0.83	0.84	0.82	0.81	0.81	0.80
21-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
22-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.83	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
23-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.82	0.82	0.81
24-Jan-17		0.80	0.80	0.79	0.84	0.85	0.83	0.81	0.82	0.80
25-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80
26-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
27-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
28-Jan-17		0.78	0.79	0.78	0.83	0.83	0.82	0.80	0.81	0.80
29-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.83	0.84	0.83	0.80	0.81	0.80
30-Jan-17		0.79	0.80	0.79	0.84	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80
31-Jan-17		0.79	0.80	0.78	0.84	0.84	0.83	0.81	0.82	0.80

Tabel 9 menunjukkan bahwa rasio ( $V/V_d$ ) pada kelompok saluran (i), (v), dan (vii) yang diambil sebagai sampel memiliki nilai hasil perbandingan mulai dari 0.78 sampai 0.85. Ketika rasio ( $V/V_d$ ) kurang dari 1.8 maka persamaan Peterson memegang peranan lebih baik. Maka dalam perhitungan rugi daya akibat korona dengan menggunakan rumus (10) memiliki nilai  $F$  sebesar 0.018.

### 3.4 Jari-jari Ekuivalen ( $\alpha_{eq}$ )

Dalam menghitung rugi korona menggunakan rumus Peterson yaitu rumus (10) terdapat unsur  $r$  atau jari-jari konduktor, namun untuk konfigurasi berkas harus dicari terlebih dahulu nilai jari-jari ekuivalen ( $\alpha_{eq}$ ). nilai jari-jari ekuivalen ( $\alpha_{eq}$ ) diperoleh dengan menggunakan persamaan (7) yaitu.

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{D}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4r}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2}r}{s}\right)} \ln \frac{D}{\sqrt[4]{\sqrt{2rs^3}}}$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = \frac{4 \times 1.28}{\left(1 + \frac{4\sqrt{2} \times 1.28}{45}\right)} \ln \frac{1240}{\sqrt[4]{\sqrt{2 \times 1.28 \times 45^3}}}$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = 24.6$$

Untuk menyelesaikan perhitungan diatas maka digunakanlah persamaan fungsi matematis sebagai berikut.

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) = 24.6$$

$$\alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) - 24.6 = 0$$

Maka diperoleh fungsi matematis

$$f(\alpha_{eq}) = \alpha_{eq} \ln\left(\frac{1240}{\alpha_{eq}}\right) - 24.6$$

Dengan analisa numerik metode iterasi diperoleh jari-jari ekuivalen ( $\alpha_{eq}$ ) yaitu 4.353 cm.



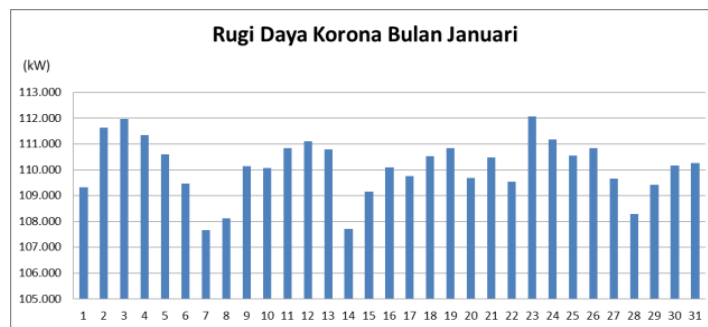
### 3.5 Rugi Daya dan Energi Akibat Korona

Setelah semua data diperoleh langkah selanjutnya adalah memasukkan data-data tersebut kedalam persamaan Peterson (rumus 10) untuk mendapatkan nilai rugi daya korona. Sedangkan untuk menghitung rugi energi korona adalah mengalikan rugi daya korona dengan waktu kerja saluran. Rugi daya dan energi akibat korona diperoleh yaitu.

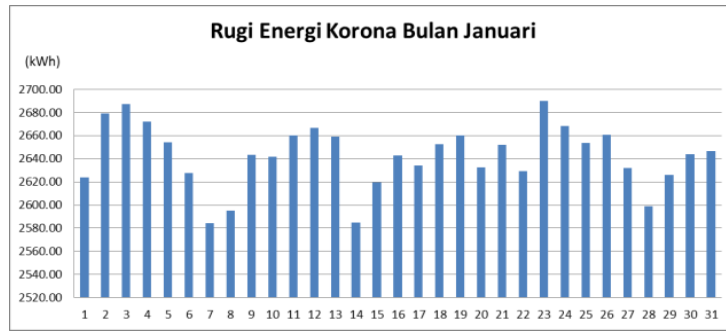
Tabel 10 Rugi Daya dan Energi Akibat Korona Bulan Januari

Tanggal	Rugi Daya Korona						Rugi Energi Korona
	Pc ln A	Pc ln B	Pc ln C	Pc total	/	Pc saluran	Wc
	(kW/mil)	(kW/mil)	(kW/mil)	(kW/mil)	(mil)	(kw)	(kWh)
1-Jan-17	0.422	0.430	0.419	1.271	85.99	109.336	2624.07
2-Jan-17	0.432	0.440	0.426	1.298	85.99	111.636	2679.27
3-Jan-17	0.434	0.441	0.427	1.302	85.99	111.975	2687.40
4-Jan-17	0.432	0.438	0.425	1.295	85.99	111.342	2672.22
5-Jan-17	0.430	0.436	0.421	1.286	85.99	110.595	2654.29
6-Jan-17	0.425	0.432	0.416	1.273	85.99	109.477	2627.46
7-Jan-17	0.418	0.424	0.410	1.252	85.99	107.673	2584.15
8-Jan-17	0.420	0.426	0.412	1.258	85.99	108.134	2595.21
9-Jan-17	0.428	0.434	0.419	1.281	85.99	110.150	2643.59
10-Jan-17	0.428	0.434	0.419	1.280	85.99	110.076	2641.84
11-Jan-17	0.430	0.437	0.422	1.289	85.99	110.837	2660.09
12-Jan-17	0.431	0.438	0.423	1.292	85.99	111.100	2666.41
13-Jan-17	0.431	0.437	0.421	1.289	85.99	110.800	2659.20
14-Jan-17	0.418	0.424	0.410	1.253	85.99	107.712	2585.08
15-Jan-17	0.423	0.429	0.417	1.269	85.99	109.151	2619.61
16-Jan-17	0.427	0.433	0.420	1.280	85.99	110.107	2642.58
17-Jan-17	0.426	0.433	0.418	1.276	85.99	109.760	2634.24
18-Jan-17	0.429	0.435	0.421	1.285	85.99	110.520	2652.48
19-Jan-17	0.430	0.436	0.423	1.289	85.99	110.849	2660.37
20-Jan-17	0.426	0.432	0.417	1.276	85.99	109.681	2632.34
21-Jan-17	0.429	0.435	0.421	1.285	85.99	110.491	2651.79
22-Jan-17	0.425	0.431	0.418	1.274	85.99	109.545	2629.08
23-Jan-17	0.435	0.441	0.427	1.303	85.99	112.080	2689.93
24-Jan-17	0.432	0.438	0.423	1.293	85.99	111.178	2668.28
25-Jan-17	0.430	0.436	0.420	1.286	85.99	110.567	2653.60
26-Jan-17	0.431	0.437	0.421	1.289	85.99	110.853	2660.47
27-Jan-17	0.426	0.432	0.417	1.275	85.99	109.661	2631.86
28-Jan-17	0.420	0.426	0.414	1.259	85.99	108.298	2599.14
29-Jan-17	0.424	0.430	0.419	1.273	85.99	109.425	2626.21
30-Jan-17	0.428	0.433	0.420	1.281	85.99	110.163	2643.91
31-Jan-17	0.428	0.434	0.420	1.282	85.99	110.271	2646.51
Rugi energi selama bulan Januari :							81922.70

Tabel 10 memperlihatkan hasil perhitungan rugi daya dan rugi energi yang diakibatkan korona pada bulan Januari. Grafik perhitungan rugi daya korona ditunjukkan oleh Gambar 6. Sedangkan rugi energi korona ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 6 Grafik Rugi Daya Korona Bulan Januari 2017



Gambar 7 Grafik Rugi Energi Korona Bulan Januari 2017

Tabel 10 , Gambar 6 dan 7 memperlihatkan bahwa pada bulan Januari 2017 nilai kerugian daya sepanjang transmisi saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) 500 kV Jepara–Ungaran pada setiap fasanya yaitu mulai dari 0.41 kW/mil (0.25 kW/km) hingga 0.44 kW/mil (0.27 kW/km) dengan rata-rata 0.42 kW/mil (0.26 kW/km). Rugi korona pada saluran tersebut mulai dari 1.25 kW/mil (0.78 kW/km) hingga 1.30 kW/mil (0.81 kW/km) dengan rata-rata 1.28 kW/mil (0.79kW/km). Sedangkan rugi keseluruhan sepanjang saluran pada bulan Januari bervariasi mulai dari 107.67 kW hingga 112.08 kW dengan rata-rata 110.11 kW. Dengan memperhatikan rumus (10) maka faktor yang menentukan besaran rugi daya korona adalah tegangan kerja saluran dan faktor *F* dimana faktor *F* pada penelitian ini memiliki nilai yang sama maka hanya tegangan kerja yang mempengaruhi besarnya rugi daya korona.

Rugi energi akibat korona merupakan pengalihan dari rugi daya korona terhadap waktu kerja dari saluran transmisi. Dari penelitian ini diperoleh rugi energi korona harian pada bulan Januari memiliki nilai mulai dari 2584.15 kWh hingga 2689.93 kWh dengan rata-rata 2642.67 kWh per harinya dan selama bulan Januari total kerugian energi akibat korona adalah sebesar 81922.7 kWh atau 81.922 MWh.

### 3.6 Persentase Rugi Daya Akibat Korona

Persentase rugi daya akibat korona merupakan perbandingan jumlah rugi daya akibat korona terhadap daya yang disalurkan. Persentase rugi korona ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Persentase Rugi Daya Korona Bulan Januari

Tanggal	Rugi Daya Korona (kW)	Daya Saluran (MW)	Persentase Rugi Korona
1-Jan-17	109.34	1239.82	0.009 %
2-Jan-17	111.64	1701.13	0.007 %
3-Jan-17	111.98	1909.99	0.006 %
4-Jan-17	111.34	1921.58	0.006 %
5-Jan-17	110.60	2323.71	0.005 %
6-Jan-17	109.48	2352.96	0.005 %
7-Jan-17	107.67	2238.33	0.005 %
8-Jan-17	108.13	2194.15	0.005 %
9-Jan-17	110.15	2323.37	0.005 %
10-Jan-17	110.08	2378.82	0.005 %
11-Jan-17	110.84	2309.89	0.005 %
12-Jan-17	111.10	2305.28	0.005 %
13-Jan-17	110.80	2397.56	0.005 %
14-Jan-17	107.71	2137.13	0.005 %
15-Jan-17	109.15	1746.61	0.006 %
16-Jan-17	110.11	2119.03	0.005 %
17-Jan-17	109.76	2370.69	0.005 %
18-Jan-17	110.52	2074.63	0.005 %
19-Jan-17	110.85	2063.82	0.005 %
20-Jan-17	109.68	2256.12	0.005 %
21-Jan-17	110.49	2293.74	0.005 %
22-Jan-17	109.55	2039.67	0.005 %
23-Jan-17	112.08	2316.27	0.005 %
24-Jan-17	111.18	2441.45	0.005 %
25-Jan-17	110.57	2449.31	0.005 %
26-Jan-17	110.85	2429.80	0.005 %
27-Jan-17	109.66	2336.72	0.005 %
28-Jan-17	108.30	1683.94	0.006 %
29-Jan-17	109.43	1510.04	0.007 %
30-Jan-17	110.16	2101.42	0.005 %
31-Jan-17	110.27	2232.15	0.005 %

Tabel 11 memperlihatkan bahwa persentase rugi daya akibat korona terhadap daya yang disalurkan sepanjang saluran sangat kecil sekali. Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh kerugian



terendahnya 0.005% dan 0.011% sebagai nilai tertingginya. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa dalam penyaluran daya listrik rugi akibat korona diabaikan. Walaupun nilai kerugian korona sangat kecil terhadap daya listrik yang disalurkan namun dampak dari korona terhadap *operator* saluran maupun lingkungan perlu mendapat perhatian.

#### 4. KESIMPULAN

##### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan yang dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai rugi daya korona SUTET 500 kV PLTU Tanjung Jati B Jepara-Ungaran rata –rata diperoleh konstan pada 110 kW. Sedangkan rugi energi korona rata-rata diperoleh 2651.98 kWh setiap harinya.
2. Persentase rugi daya korona terhadap daya listrik yang disalurkan bernilai antara 0.005% hingga 0.011 %. Nilai yang diperoleh sangat kecil sekali sehingga rugi daya korona seringkali diabaikan.

##### 4.2 Saran

Rugi daya maupun energi akibat fenomena korona dalam sistem saluran transmisi daya listrik pada praktiknya sangat jarang diperhatikan karena nilainya sangat kecil. Walaupun nilainya sangat kecil alangkah lebih baiknya selalu diperhatikan dan dipelajari dampak-dampak terkait dengan fenomena korona.

#### REFERENSI

- [1] Sari, N. K. (2014). Analisis Pengaruh Akibat Korona Terhadap Rugi-rugi Daya Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV (G.I Lubuk Alung - G.I. P.I.P - G.I Pauh Limo). *Jurnal Nasional Teknik Elektro*.
- [2] Budiyo, M. (1998). Fenomena Korona Pada Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET) Akibat Tegangan Gagal Isolasi Udara. *Skripsi*, 5-6.
- [3] JHA, D. R. (1977). *High Voltage Engineering*. Delhi: J.C. Kapur For Dhanpat Rai & Sons .
- [4] Deshpande, M. V. (1982). *Electrical Power System Design*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company limited.
- [5] Uppal, N. D. (1976). *Electrical Power*. Delhi: Khanna Publisher.
- [6] Siti Khanafiyah, U. N. (2004). *Fisika Lingkungan*. Semarang: Badan Penerbitan Universitas Diponegoro.
- [7] Wahyudin, M. (1987). *Metode Analisis Numerik*. Bandung: Tarsito.