

# PENGARUH ASAP HASIL BAKAR KAYU TERHADAP TEGANGAN *FLASHOVER* AC ISOLATOR PIRING

Youki Hutaauruk<sup>(1)</sup>, Ir. Syahrawardi<sup>(2)</sup>

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

Email: [youkihutaauruk@gmail.com](mailto:youkihutaauruk@gmail.com)

## Abstrak

Tulisan ini membahas pengaruh asap hasil bakar kayu terhadap tegangan *flashover* AC isolator piring. Dari hasil analisis didapat bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi asap (PM10 dan gas CO) maka akan sangat berpengaruh terhadap penurunan tegangan *flashover* AC isolator piring yaitu ketika konsentrasi asap mengalami peningkatan dari 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi 20.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  untuk konsentrasi PM10 dan dari 2.288,9094  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi 929.297,2231  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  untuk konsentrasi gas CO mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 26,13 kV dalam kondisi standar (Suhu 20°C dan tekanan udara 760 mmHg). Dalam proses pengujian juga didapat bahwa, ketika proses pengasapan telah selesai, asap hasil bakar kayu akan meninggalkan sejumlah polutan berupa cairan asam pada isolator piring yang mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 49,06 kV dalam kondisi standar. Sehingga kekuatan dielektrik isolator piring tidak akan kembali dalam keadaan normal.

**Kata Kunci: Isolator Piring, Asap, Tegangan *Flashover* AC.**

## 1. Pendahuluan

Berdasarkan berita yang diterbitkan pada redaksi online tentang “Giliran Pembangkit Terganggu Asap”, menjelaskan bahwa kabut asap memiliki pengaruh terhadap kontinuitas sistem tenaga listrik. Hal tersebut dijelaskan bahwa kabut asap memiliki polutan yang mengganggu sistem kerja pembangkit PLTGU Borang di Banyuasin 1 yang mengakibatkan pemadaman listrik selama 4 jam di Sumatera Selatan dan sebagian Lampung [1].

Hal tersebut merupakan titik masalah bagi negara Indonesia yang merupakan negara tropis yang memiliki kekayaan hamparan hutan yang luas, hampir 100 juta hektar atau sekitar 52,2% luas wilayah Indonesia [2].

Sejumlah bahan kimia asap kebakaran hutan akan menyebar luas secara bebas yang akan sangat mengganggu bagi kelangsungan hidup manusia. Hal inilah yang menyebabkan negara Indonesia mengeluarkan Indeks Standar Pencemar Udara untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang kondisi yang berlangsung[3].

Dengan mengacu terhadap masalah diatas, sistem pertransmisi tenaga listrik Indonesia sampai saat ini menggunakan sistem penyaluran hantaran udara. Hal ini memungkinkan gangguan terhadap asap kebakaran hutan akan sangat besar terutama

jaringan transmisi yang melewati daerah hutan Indonesia.

Pada *paper* ini, akan dibahas pengaruh asap hasil bakar kayu terhadap tegangan *flashover* AC isolator piring. Masalah yang akan dianalisa adalah bagaimana pengaruh tingkat konsentrasi asap, pengaruh tingkat bobot polutan yang dihasilkan, pengaruh lama durasi penahan asap dengan tingkat konsentrasi asap tertentu dan pengaruh kondisi asap yang meliputi temperatur dan kelembaban terhadap tegangan *flashover* AC isolator piring.

## 2. Studi Pustaka

### 2.1. Teori Kegagalan Isolasi

Peristiwa terjadinya *flashover* pada isolator hantaran udara merupakan peristiwa pelepasan muatan melalui permukaan isolator dari konduktor yang bertegangan yang dipikul isolator ke lengan menara.

Ada 2 kondisi terjadinya peristiwa *flashover*, yaitu pada kondisi permukaan isolator bersih dan pada kondisi permukaan isolator terpolusi. Saat permukaan isolator bersih, *flashover* yang terjadi disebabkan oleh tembusnya udara di sekitar permukaan. Bila permukaan isolator dilapisi polutan, tahanan permukaan isolator akan turun sehingga arus bocor yang mengalir akan semakin besar dibandingkan dengan arus bocor pada kondisi permukaan bersih.

Sifat listrik udara dipengaruhi oleh lingkungan sekitar, sehingga nilai tegangan tembus udara juga akan berubah sesuai kondisi lingkungan sekitar udara. Berikut ini faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan tembus udara:

- a. Temperatur Udara
- b. Tekanan Udara
- c. Kelembaban Udara

Hasil pengujian tegangan *flashover* tergantung pada kondisi udara. Karena itu, hasil pengujian ketika udara dalam keadaan standar perlu dinyatakan, yaitu pada suhu udara 20<sup>0</sup>C, tekanan udara 760 mmHg dan kelembaban udara 11 g/m<sup>3</sup>. Hasil pengujian pada keadaan standar dapat dilihat pada Persamaan 1 dan 2[4]:

$$\delta = \left( \frac{0,386p}{273+T} \right) \quad (1)$$

$$V_{us} = V / \delta \quad (2)$$

dimana,

$\delta$  = faktor koreksi suhu dan tekanan udara  
 $V_{us}$  = tegangan *flashover* keadaan standar (kV)  
 $T$  = suhu udara (<sup>0</sup>C)  
 $P$  = tekanan udara (mmHg)

Salah satu faktor yang mempengaruhi peristiwa terjadinya *flashover* pada isolator piring adalah asap hasil bakar kayu, dimana asap akan menghasilkan sejumlah bahan kimia pada udara secara bebas yang meliputi partikel dan komponen gas seperti sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), formaldehid, akrolein, benzen, nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan ozon (O<sub>3</sub>)[3].

Dalam jangka waktu dan kondisi udara tertentu, pengasapan hasil bakar kayu yang mengenai isolator piring, akan menyebabkan isolator tersebut akan terpolusi asap cair yang berupa asam asetat yang merupakan senyawa dominan pada asap cair kayu pinus yang merupakan hasil analisa dari proses pirolisis[5].

Dalam kondisi sebagai media isolasi tegangan tinggi, asam ini akan menjadi pengaruh besar terhadap fenomena terjadinya *flashover* pada isolator piring yang akan menjadi media konduktif pada permukaan isolator.

Untuk itu perlu dilakukan perencanaan yang matang dalam proses pemilihan dan perancangan jenis isolator yang sesuai persyaratan umum sebuah isolator[6].

Perkiraan dan pengukuran bobot polusi juga harus dilakukan untuk dapat menggunakan berbagai jenis isolator secara tepat guna yang akan menghasilkan perencanaan yang baik[7].

### 3. Metode Penelitian

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara dan Balai Teknik Kesehatan Lingkungan Pengendalian Penyakit (BTKL-PP) Kelas 1 Medan pada bulan Agustus 2015.

Dalam penelitian, data yang diperoleh dengan menggunakan percobaan simulasi asap hasil bakar kayu yang dirancang sedemikian rupa seperti pada Gambar 1.

Peralatan simulasi ini menirukan kondisi jaringan transmisi yang melewati kawasan hutan yang dimana diluar daerah *clearance* merupakan pepohonan dan apabila terjadi kebakaran maka peralatan jaringan transmisi khususnya isolator piring akan tertutupi penuh oleh asap.



Gambar 1. Peralatan Simulasi Pengasapan Hasil Bakar Kayu

Keterangan gambar :

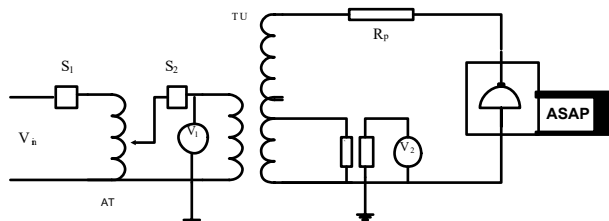
1. Kabel fasa
2. Tungku pembakaran kayu
3. Lubang hisap *air analyzer*
4. Kabel *grounding*
5. Isolator uji
6. *Barometer/humidimeter*
7. Tabung kaca dengan volume 360 Liter.

Proses penelitian dilakukan dalam dua kondisi, yaitu dalam kondisi udara ambien atau udara normal dan kondisi terpolusi asap.

Untuk menghindari adanya gangguan dari kontaminasi yang menempel pada isolator piring, maka isolator piring terlebih dahulu

dicuci bersih menggunakan air bersih dan kemudian dikeringkan secara alami didalam ruang pengeringan sekitar 24 jam.

Kemudian isolator dimasukkan ke dalam ruang tabung kaca pengujian yang akan diukur besarnya tegangan *flashover* AC dengan rangkaian percobaan pengukuran seperti Gambar 2.



**Keterangan gambar :**  
 AT = Autotransformator; TU = Trafo uji ; Rp = Tahanan peredam; S1 = Saklar Utama ;  
 S2 = Saklar Sekunder; V<sub>m</sub> = Tegangan Masukan

Gambar 2. Rangkaian Percobaan

Untuk pengujian isolator terpolusi asap, dilakukan terlebih dahulu pembakaran kayu pinus dalam tungku pembakaran sampai menghasilkan banyak asap dengan meminimalisasikan api yang dihasilkan dalam proses pembakaran. Kemudian masukkan tungku pembakaran pada jalur masuk asap dan tunggu sampai asap memenuhi tabung kaca secara sepenuhnya dan catat waktu pemasukan asapnya.

Keluarkan tungku pembakaran dan dengan segera tutup tempat pemasukan asap dengan pintu kaca yang telah disediakan. Kemudian dilakukan pengukuran terhadap kondisi asap (suhu, tekanan dan kelembaban pada asap), konsentrasi asap (PM10, gas CO, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>) dan besarnya tegangan *flashover* AC untuk setiap 15 menit sekali selama 60 menit dengan keadaan kotak kaca tertutup rapat dan kemudian kotak kaca dibuka dan dilakukan pengukuran kembali untuk kondisi asap, konsentrasi asap, dan tegangan *flashover* AC untuk setiap 15 menit sekali selama 30 menit.

Kemudian pengujian dilanjutkan kembali dengan melakukan pengukuran untuk kondisi isolator didiamkan selama  $\pm 24$  jam yang bertujuan mengetahui kondisi akhir kekuatan isolasi isolator piring terpolusi asap.



Gambar 3. Kondisi Isolator Piring Terpolusi Asap Pembakaran

Setelah proses pengujian selesai dilakukan, isolator dikeluarkan dari tabung kaca untuk dilakukan proses pengukuran bobot polusi yang dihasilkan seperti Gambar 3. Ada banyak metode untuk menentukan bobot polusi isolator. Metode yang umum digunakan adalah metode ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) dan tinjauan lapangan. Metode ESDD dilakukan dengan mengukur konduktivitas polutan kemudian disetarakan dengan bobot garam dalam larutan air yang konduktivitasnya sama dengan konduktivitas polutan tersebut[8].

#### 4. Hasil dan Pembahasan

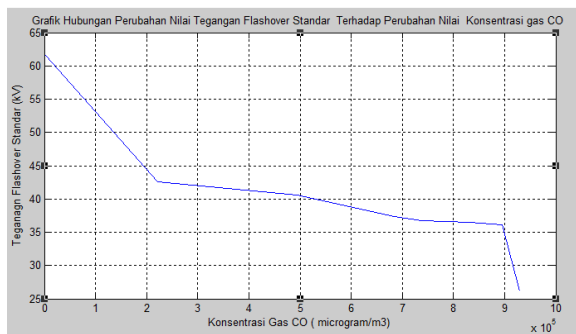
Dari hasil percobaan yang dilakukan, ada beberapa kategori analisis yang dapat dilakukan yaitu analisis tegangan *flashover* ac terhadap konsentrasi kadar asap, analisis tegangan *flashover* ac terhadap bobot polutan yang menempel pada permukaan isolator piring, analisis tegangan *flashover* ac terhadap lama durasi penahanan asap dan analisis tegangan *flashover* ac terhadap kondisi asap.

Untuk hubungan antara konsentrasi kadar asap dengan tegangan *flashover* ac ditunjukkan pada Tabel 1.

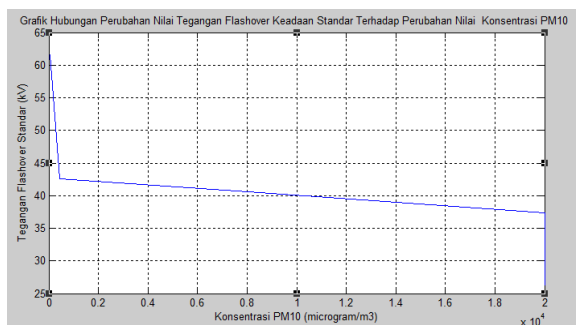
Tabel 1. Hubungan Antara Konsentrasi Gas CO dan PM10 Dengan Tegangan *Flashover* AC Pada Suhu 20°C dan Tekanan 760 mmHg

Kondisi	Durasi (Menit)	Konsentrasi CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Konsentrasi PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$V_{us}$ (kV)
Udara ambien	-	2.288,9094	41	61,63
Kotak kaca tertutup rapat	Awal	929.297,2231	20.000	26,13
	15	894.963,5818	20.000	36,15
	30	832.018,5729	20.000	36,52
	45	737.028,8321	20.000	37,72
Kotak kaca terbuka	60	684.383,9155	20.000	37,3
	75	494.404,4339	8046	40,64
	90	222.024,2134	441	42,57

Dari data pada Tabel 1, dapat dibuat grafik hubungan perubahan nilai tegangan *flashover* AC dalam keadaan standar (suhu 20°C dan tekanan 760 mmHg) dengan perubahan konsentrasi CO dan PM10 dalam asap yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut:



Gambar 4. Grafik Hubungan Perubahan Nilai Tegangan *Flashover* Keadaan Standar ( $V_{us}$ ) Terhadap Perubahan Nilai Konsentrasi Gas CO



Gambar 5. Grafik Hubungan Perubahan Nilai Tegangan *Flashover* Keadaan Standar ( $V_{us}$ ) Terhadap Perubahan Nilai Konsentrasi PM10

Dari grafik pada Gambar 4 terlihat bahwa semakin drastis peningkatan konsentrasi gas CO dalam asap, mengakibatkan penurunan drastis tegangan *flashover* AC. Hal ini terlihat ketika peningkatan konsentrasi gas CO dari 2.288,9094  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi 929.297,2231  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mengakibatkan penurunan tegangan dari 61,63

kV menjadi 26,13 kV. Dalam hal ini juga terlihat bahwa, ketika konsentrasi gas CO dalam asap mengalami penurunan, mengakibatkan peningkatan tegangan *flashover* AC.

Hal ini terjadi karena jumlah molekul-molekul terkhususnya gas CO di udara sekitar isolator semakin banyak yang berakibat semakin meningkat proses terjadinya ionisasi sehingga semakin luas terbentuk jalur-jalur konduktif untuk mengalirnya arus yang berujung kepada terjadinya *flashover*.

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5 terlihat bahwa ketika konsentrasi PM10 dalam asap meningkat, mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC. Hal ini terlihat ketika peningkatan konsentrasi PM10 dari 2.288,9094  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menjadi 929.297,2231  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mengakibatkan penurunan tegangan dari 61,63 kV menjadi 26,13 kV.

Hal ini disebabkan karena jumlah partikel-partikel halus yang tersebar disekitar isolator piring semakin banyak dan rapat sehingga akan semakin terbentuk dan semakin rapat jalur-jalur konduktif untuk mengalirnya arus yang berujung kepada terjadinya *flashover*.

Ketika proses pengasapan telah selesai, asap hasil bakar kayu menghasilkan cairan asam yang menempel pada permukaan isolator seperti pada Gambar 3 dan berdasarkan analisis perhitungan tingkat bobot polusi dengan metode ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*), didapat bahwa polutan yang menempel pada permukaan isolator piring terpolusi asap hasil bakar kayu dalam percobaan ini memiliki tingkat bobot polusi ringan yaitu dengan nilai ESDD sebesar 0,042  $\text{mg}/\text{cm}^2$

Lamanya durasi penahanan asap berakibat kepada perubahan kondisi asap yang meliputi perubahan konsentrasi gas CO, suhu, tekanan dan kelembaban asap.

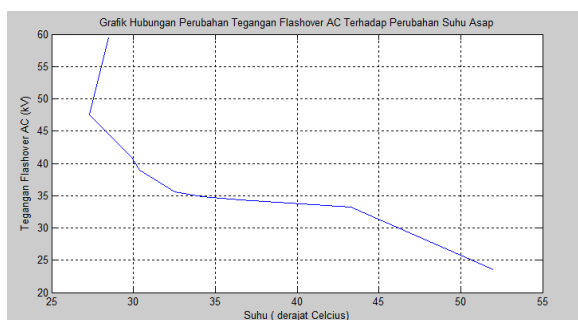
Semakin lama durasi penahanan asap, maka temperatur asap akan semakin menurun yang pada akhirnya akan sama kepada kondisi temperatur udara disekitarnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.



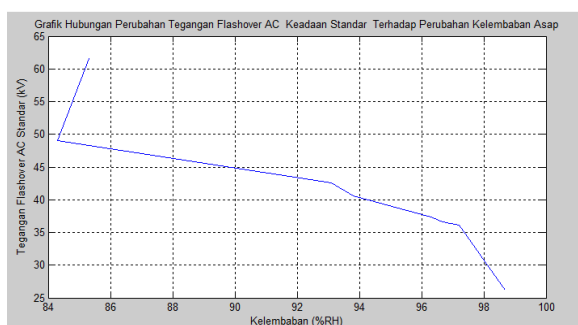
Tabel 2. Hubungan Antara Suhu dan Kelembaban Asap Dengan Tegangan *Flashover* AC Pada Suhu 20°C dan Tekanan 760 mmHg

Kondisi	Durasi (menit)	Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	V (kV)
Udara ambien	-	28,5	85,3	59,42
Kotak kaca tertutup rapat	Awal	52	98,7	23,5
	15	43,3	97,2	33,28
	30	36,5	96,8	34,36
	45	34,2	96,6	34,8
Kotak kaca terbuka	60	32,5	96,3	35,54
	75	30,4	93,8	38,98
90	29,9	93,1	40,9	
24 jam setelah pengasapan	-	27,3	84,3	47,52

Dari Tabel 2, dapat dibuat grafik hubungan perubahan tegangan *flashover* AC terhadap perubahan suhu asap dan hubungan perubahan tegangan *flashover* AC keadaan Standar (suhu 20°C dan tekanan 760 mmHg) terhadap perubahan kelembaban asap yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Grafik Hubungan Perubahan Tegangan *Flashover* AC Terhadap Perubahan Suhu Asap



Gambar 7. Grafik Hubungan Perubahan Tegangan *Flashover* AC Keadaan Standar Terhadap Perubahan Kelembaban Asap

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6 terlihat bahwa peningkatan suhu asap yang drastis, mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC yang drastis juga yaitu dari 28,5°C menjadi 52 °C yang mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC yang drastis juga yaitu dari 59,42 kV menjadi 23,5 kV.

Begitu juga dengan sebaliknya, ketika suhu pada asap mengalami penurunan, maka tegangan *flashover* AC mengalami peningkatan.

Hal ini terjadi karena, ketika temperatur atau suhu gas dalam suatu bejana tertutup dinaikkan, maka molekul-molekul gas akan bersirkulasi dengan kecepatan tinggi sehingga terjadi benturan antar molekul yang dapat membuat terlepasnya elektron dari molekul netral.

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa peningkatan kelembaban udara mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC pada isolator yaitu kelembaban 85 %RH menjadi 98,7 %RH mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 26,13 kV.

Hal ini terjadi karena semakin tinggi %RH di udara atau asap maka semakin tinggi konsentrasi uap air yang terkandung dalam asap. Dalam hal ini juga terlihat bahwa, ketika kelembaban mengalami penurunan, mengakibatkan tegangan *flashover* mengalami peningkatan.

### 5. Kesimpulan

Dari hasil analisis data yang diperoleh dari percobaan yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar peningkatan konsentrasi PM10 dan gas CO dalam asap yang melingkupi isolator piring mengakibatkan semakin besar penurunan nilai tegangan *flashover* AC isolator piring tersebut yaitu ketika konsentrasi asap mengalami peningkatan dari 41 µg/m<sup>3</sup> menjadi 20.000 µg/m<sup>3</sup> untuk konsentrasi PM10 dan dari 2.288,9094 µg/m<sup>3</sup> menjadi 929.297,2231 µg/m<sup>3</sup> untuk konsentrasi gas CO mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 26,13 kV dalam kondisi standar (suhu 20°C dan tekanan udara 760 mmHg).
2. Proses pengasapan hasil bakar kayu menimbulkan polutan berupa cairan asam pada permukaan isolator piring yang mengakibatkan penurunan nilai tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 49,06 kV dalam kondisi standar.
3. Semakin tinggi suhu asap yang melingkupi isolator piring mengakibatkan semakin besar penurunan nilai tegangan *flashover* AC pada isolator piring tersebut yaitu dari

28,5°C menjadi 52 °C yang mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 59,42 kV menjadi 23,5 kV.

4. Peningkatan nilai kelembaban dalam asap mengakibatkan penurunan nilai tegangan *flashover* AC pada isolator piring yaitu dari 85%RH menjadi 98,7 %RH mengakibatkan penurunan tegangan *flashover* AC dari 61,63 kV menjadi 49,06 kV dalam kondisi standar.

#### Daftar Pustaka

- [1] Redaksi Online. 04 November 2014. *Giliran Pembangkit Terganggu Asap*. Sumatera Ekspres.
- [2] Kementrian Kehutanan. 2014. *Statistik Kementerian Kehutanan 2013*. Jakarta: Kemeterian Kehutanan Indonesia.
- [3] Faisal, Fikri., dkk. 2012. *Dampak Asap Kebakaran Hutan Pada Pernafasan*. Jakarta: Departemen Pulmonologi dan Ilmu Kedokteran Respirasi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- [4] Tobing, Bonggas L. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, edisi kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [5] Wijaya, Mohammad., dkk.2008. *Perubahan Suhu Pirolisis Terhadap Struktur Kimia Asap Cair dari Serbuk Gergaji Kayu Pinus*. Jurnal Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan.
- [6] Kentrick. 2014. *Simulasi Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Isolator Rantai*. Medan: Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [7] P. J. Lambeth, B.Sc.(Eng.), C.Eng., M.I.E.E.1971.*Effect of pollution on high-voltage outdoor insulators*. PROC. IEE, JEE REVIEWS, Vol. 118, No. 9
- [8] Tobing, Bonggas L. 2012. *Peralatan Tegangan Tinggi*, edisi kedua, Jakarta: Penerbit Erlangga.