

Analisis Pengaruh Endapan Polutan dengan Metode *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD) terhadap Tegangan Korona pada Isolator *Pin Post* di Jaringan Distribusi 20 kV Pekanbaru

M.Putra Nurjanah*,Firdaus**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau**Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau
Email : m.putra_1007135361@yahoo.com

ABSTRACT

Insulator pin post installed in an open space very coated ranges deposition of pollutants from the surrounding environment. Deposition of these pollutants will reduce surface resistance of the insulator, causing corona voltage (Corona Discharge). Corona voltage causing emergence of leakage current in the order of a few milliamps so that the insulator does not work well. The measurement method trough levels of pollutants using the equivalent salt deposit density (ESDD) which measures the conductivity of the weight of sediment pollutants then synchronized with the weight of the salt in aqueous solution so that its conductivity is equal to the conductivity of the pollutant deposition. This study analyzes how much influence the pollutant deposition occurs when the corona so that it can provide information that isolator placement terms of level of pollutant deposition. The results obtained are greater the value ESDD or deposition of pollutants, the lower-voltage corona. ESDD Value ≥ 0.09778619 corona occurs below the working voltage of 20 kV. In ESDD value between 0 to 0.01477054 largest difference occurs against voltage ac corona at a voltage of 23.24 and at a dc voltage of 32.82.

Keywords: Insulator pin post, ESDD, corona voltage

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting dalam menunjang kehidupan sehari – hari. Dalam penyaluran energi listrik tersebut, selain pengantar atau konduktor juga diperlukan seperangkat isolator yang berfungsi memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan, agar tidak terjadi kegagalan listrik seperti korona (*Corona Discharge*). Aktivitas korona pada tegangan tinggi merupakan sumber utama terjadinya degradasi dan kegagalan pada isolasi.

Dalam aplikasinya, isolator yang terletak di luar ruangan sehingga banyak terpengaruh oleh keadaan lingkungan disekitarnya, misalnya pengaruh endapan polutan, suhu dan tekanan udara. Sehingga tidak tertutup kemungkinan kemampuan dari

isolator menurun atau berada di bawah kemampuan kerja seharusnya. Menurut data WHO, Pekanbaru menjadi salah satu dari 5 kota besar di Indonesia yang masuk dalam pemantauan tingkat polusi udara. Pekanbaru memiliki PM_{10} sebesar ($11 \mu g/m^3$) dalam kondisi normal dan kondisi tertentu seperti saat terjadi bencana asap maka indeks PM_{10} akan meningkat sangat cepat sehingga akan terjadi endapan polutan yang sangat banyak di permukaan isolator.

Dengan adanya permasalahan mengenai faktor lingkungan terutama endapan polutan yang akan mengurangi kemampuan isolasi sebuah isolator maka dari itu skripsi ini akan meneliti seberapa besar pengaruh endapan polutan terhadap korona pada isolator *pin post* sehingga bisa mencegah terjadinya korona.

Korona bisa mengakibatkan berbagai macam gangguan seperti gangguan radio, rugi saluran transmisi, suara bising dan pada kondisi tegangan yang sangat tinggi akan muncul busur api.

LANDASAN TEORI

ISOLATOR

Isolator merupakan salah satu bahan dielektrik yang digunakan untuk memisahkan konduktor bertegangan dengan kerangka penyangga yang dibumikan. Isolator berfungsi secara mekanik untuk menahan beban kawat saluran udara, secara elektrik mengisolasi saluran yang bertegangan dengan menara atau saluran dengan saluran sehingga tidak terjadi kebocoran arus dan dalam gradien medan tinggi terjadi korona dan lompatan listrik baik lewat denyar (*flashover*) atau percikan (*sparkover*). (Tedy Juliandhy, 2014)

Jenis Isolator

Berikut akan dijelaskan secara singkat mengenai isolator berdasarkan bahan pembuatnya dan fungsinya.

Berdasarkan bahan pembuatannya

1. Isolator porselen
Bahan porselen digunakan dalam pembuatan isolator rantai, isolator tipe *post* dengan inti padat maupun berongga, isolator tipe *pin*, isolator *post* dengan sirip banyak dan bushing.
2. Isolator kaca
Kaca kebanyakan digunakan dalam pembuatan isolator rantai dan isolator tipe *post* yang bersirip banyak.

Berdasarkan fungsinya

Terdapat 2 jenis isolator yang dipakai sesuai dengan fungsinya :

1. Isolator Tumpu (*line insulator*), terdapat berbagai istilah : *line post insulator*, *post insulator*, *insulator pin*. Isolator tumpu digunakan untuk tumpuan penghantar gaya mekanis pada isolator ini adalah

gaya akibat berat beban penghantar pada tiang tumpu atau pada tiang sudut.

Tabel 1 Karakteristik isolator tumpu

No.	Karakteristik	Jenis Isolator		
		Line Post	Pin Post	Pin
1	Tegangan kerja maksimal	24 kV	24 kV	22 kV
2	<i>Withstand voltage</i> (basah)	65 kV	65 kV	75 kV
3	<i>Impulse withstand voltage</i>	125 kV	125 kV	125 kV
4	<i>Mechanical Strength</i>	1250 daN	1250 daN	850 daN
5	<i>Creepage distance</i>	480 mm	534 mm	583 mm
6	Berat	8,34 kg	10 kg	6,4 kg

2. Isolator Regang (*Suspension Insulator*), terdapat 2 macam yaitu : isolator payung (*umbrella insulator*) dan *long rod insulator*. Isolator peregang dipakai pada konstruksi tiang awal/tiang sudut apabila sudut elevasi lebih besar dari 30°. Terdapat 2 jenis isolator yang dipakai, yaitu isolator payung dan *long rod* dengan karakteristik sebagai berikut :

Tabel 2 Karakteristik isolator regang (*Suspension Insulator*)

No.	Karakteristik	Jenis Isolator	
		Payung	Long Rod
1	Tegangan kerja maksimal	24 kV	24 kV
2	<i>Withstand voltage</i>	65 kV	67 kV
3	<i>Impulse withstand voltage</i>	110 kV	170 kV
4	<i>Creepage distance</i>	295 mm ²	546 mm ²
5	<i>Mechanical Strength</i>	7000 daN	7500 daN
6	Berat	4,7 kg	7 kg

Isolator Terpolusi

Isolator baik yang terpasang di ruang terbuka maupun tertutup, akan dilapisi oleh polutan yang terkandung di udara. Polutan ini dapat mempengaruhi konduktivitas permukaan dari isolator tersebut sehingga dapat menyebabkan kegagalan isolasi. Beberapa jenis polutan yang sangat berpengaruh terhadap tahanan permukaan isolator adalah :

1. Garam. Garam ini dapat berasal dari udara yang berhembus dari laut dan yang berasal dari zat kimia di jalanan yang menguap.
2. Limbah pabrik dalam bentuk gas seperti karbon dioksida, klorin dan sulfur oksida dari pabrik kimia dan sebagainya.
3. Kotoran burung.
4. Pasir di daerah gurun.

KORONA

Korona adalah suatu peristiwa kegagalan listrik yang merupakan gejala awal terjadinya peristiwa *flashover* (lewat denyar). Aktivitas korona merupakan sumber utama terjadinya degradasi dan kegagalan pada isolasi. Peristiwa korona ini ditandai dengan bunyidengung, bau ozon dan kilatan seragam pada permukaan isolator. Korona dapat terjadi pada beberapa kondisi, yaitu pada kondisi permukaan isolator bersih dan pada kondisi permukaan isolator terpolusi. Saat permukaan isolator bersih, korona yang terjadi disebabkan oleh tembusnya udara disekitar 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. Arus ini akan menyebabkan terbentuknya jalur konduktif sehingga terjadi peristiwa korona.

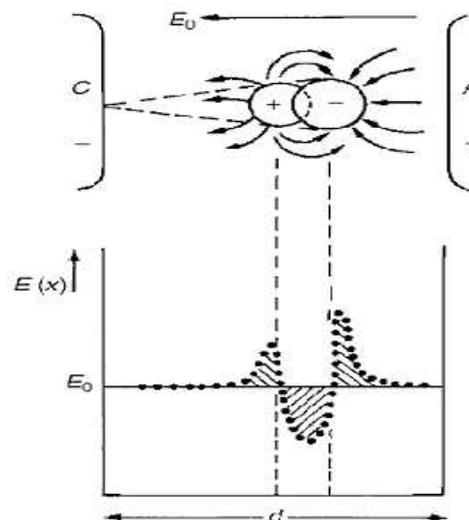
Mekanisme Korona pada Kondisi Isolator Bersih

Pada kondisi isolator bersih, peristiwa korona terjadi karena tembusnya udara disekitar permukaan isolator tersebut. Udara umumnya memiliki sifat isolatif yaitu tidak menghantarkan arus listrik karena memiliki

sedikit elektron bebas. Tetapi sifat udara ini dapat berubah menjadi konduktif. Berubahnya sifat isolatif menjadi konduktif karena terjadinya ionisasi dan emisi. Berubahnya sifat isolatif menjadi konduktif karena terjadinya ionisasi dan emisi.

Mekanisme Terjadinya Tembus Listrik Udara

Mekanisme Townsend dan mekanisme Streamer adalah 2 teori mekanisme tembus listrik pada udara. Pada medan listrik benda seragam/homogen hanya berlaku mekanisme Townsend, sedangkan mekanisme Streamer berlaku pada medan listrik benda homogen maupun tidak homogen. Medan listrik yang menerpa udara disekitar permukaan isolator tidak homogen pada isolator hantaran udara maka mekanisme tembus listrik yang akan dibahas hanya mekanisme Streamer. Elektron bebas di udara yang dihasilkan dari proses ionisasi radiasi sinar kosmis atau fotoionisasi akan mengalami gaya yang arahnya menuju anoda. Terbentuknya muatan ruang ini disebabkan dalam perjalanannya elektron ini terjadi proses ionisasi benturan. Pada gambar 1 menunjukkan adanya muatan ruang pada celah menyebabkan medan listrik pada celah kedua plat akan berbeda pada setiap bagian pada celah muatan ruang.

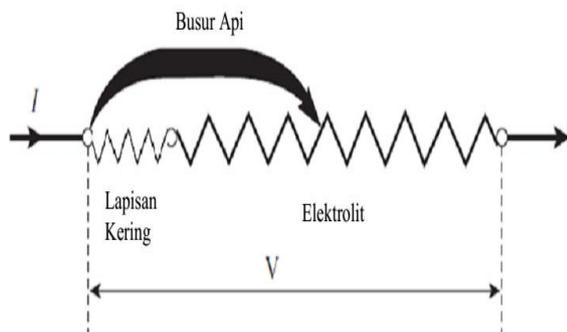


Gambar 1 Medan pada Celah karena adanya Muatan Ruang

(Sumber : Wilvian, 2012)

Mekanisme Korona pada Kondisi Isolator Berpolutan

Permukaan isolator yang terpasang akan dilapisi oleh polutan. Ketika polutan dalam keadaan kering, polutan masih bersifat tidak konduktif. Tetapi bila polutan basah dikarenakan gerimis atau kabut, lapisan polutan akan larut dan membentuk larutan elektrolit yang konduktif. Akibatnya tahanan permukaan akan turun dan arus bocor naik dalam orde beberapa miliampere. Arus bocor ini akan memanaskan larutan elektrolit pada permukaan isolator sehingga terbentuk lapisan kering. Pada lapisan kering ini, medan listrik cukup besar sehingga udara disekitarnya dapat mengalami ionisasi. Kemudian udara akan tembus ditandai dengan mengeluarkan radiasi cahaya dan gelombang elektromagnetik berupa suara bising. Proses tersebut terjadi secara terus-menerus, maka cahaya akan bertambah besar dan terang sehingga akan muncul busur api yang menyebabkan peristiwa korona. Rangkaian ekuivalen dari lapisan kering dan elektrolit pada permukaan isolator dapat dilihat pada Gambar 2 berikut :



Gambar 2 Rangkaian Ekuivalen dari Lapisan Kering dan Elektrolit pada Permukaan Isolator

(Sumber : Wilvian, 2012)

METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini digunakan metode eksperimen yang mana data-data tersebut didapat dari hasil pengukuran sesuai dengan parameter-

parameter yang telah di tetapkan dalam penelitian ini. Langkah-langkah yang dilakukan dalam eksperimen tersebut terutama adalah :

Pengukuran Tingkat Endapan Polutan dengan menggunakan Metode ESDD

Metode *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD) adalah mengukur konduktivitas bobot endapan polutan kemudian disetarakan dengan bobot garam dalam larutan air sehingga konduktivitasnya sama dengan konduktivitas endapan polutan tersebut.

Nilai konduktivitas air pencuci isolator pada suhu 20°C dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b(\theta - 20)] \quad (1)$$

Keterangan :

σ_{20} = Konduktivitas larutan pada suhu 20°C (S/m)

σ_{θ} = Konduktivitas larutan pada suhu $\theta^{\circ}\text{C}$ (S/m)

θ = Suhu larutan ($^{\circ}\text{C}$)

b = Faktor koreksi suhu pada suhu $\theta^{\circ}\text{C}$

Nilai salinitas dari larutan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (IEC 815) :

$$D = (5.7 \times \theta_{20})^{1.03} \quad (2)$$

Keterangan :

D = Salinitas (mg / cm^3)

Nilai dari ESDD dengan menggunakan rumus sebgai berikut (Angelina, 2012) :

$$ESDD = V \cdot \frac{(D_2 - D_1)}{A} \quad (3)$$

Keterangan:

$ESDD$ = *Equivalent Salt Deposit Density* (mg / cm^2)

V = Volume air pencuci (ml)

D_1 = Salinitas larutan pencuci tanpa polutan (mg / cm^3)

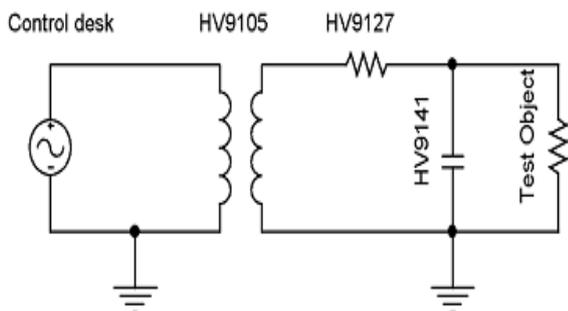
D_2 = Salinitas larutan pencuci berpolutan (mg / cm^3)

A = Luas permukaan isolator (cm^2)

Pengukuran Tegangan Korona

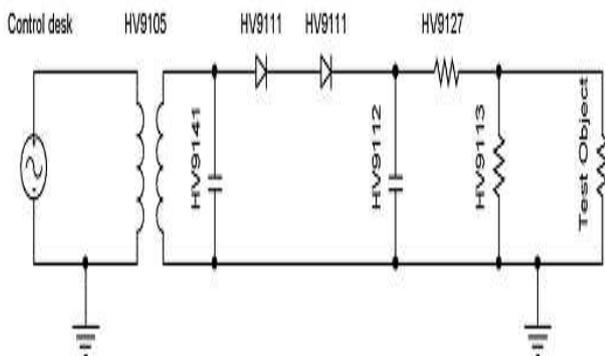
Melakukan Eksperimen sesuai peremeter yang telah di tetapkan.

a. Rangkaian pengujian tegangan korona AC



Gambar 3 Rangkaian pengujian tegangan korona pada tegangan ac
(Sumber : Terco Manuals book, 2011)

b. Rangkaian pengujian korona DC



Gambar 4 Rangkaian pengujian tegangan korona pada tegangan dc
(Sumber : Terco Manuals book, 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Umum

Bab ini akan menjelaskan tentang perhitungan ESDD untuk menentukan bobot endapan polutan isolator, pengolahan data hasil pengukuran tegangan korona dan perhitungan pengaruh tegangan korona di berbagai tingkatan endapan polutan.

Perhitungan Tingkat Endapan Polutan dengan menggunakan Metode ESDD

Perhitungan Konduktivitas Perhitungan Konduktivitas dalam keadaan standar $t = 20^\circ$ dengan menggunakan pers 1.

Tabel 3 Hasil pengukuran konduktivitas

Komposisi Larutan Pengotor	Air bersih		Air Polutan	
	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Konduktivitas (σ_1)	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Konduktivitas (σ_2)
NaCl 0 gram	22,3	72	22,3	72
NaCl 25 gram	22,3	72	22,3	146
NaCl 50 gram	22,3	72	22,3	156
NaCl 100 gram	23	69	23	397,4
NaCl 200 gram	23,6	72	23	554,8
NaCl 300 gram	23	71,2	23	849,6
NaCl 400 gram	25	67	24,3	1186
NaCl 500 gram	24,3	72	24,3	1533
NaCl 600 gram	24,3	72	24,3	2270
NaCl 700 gram	25,7	74	25	4215
NaCl 800 gram	25,7	75	25	4609

Tabel 4 Tabel hasil perhitungan konduktivitas keadaan standar, nilai salinitas dan nilai ESDD.

b	Air bersih		b	Air berpolutan		ESDD mg/cm^2
	σ_1	D_1		σ_2	D_2	
	S/m	mg/cm^3		S/m	mg/cm^3	
0,0219144	0,006837098	0,0353565	0,0219144	0,006837098	0,0353565	0
0,0219144	0,006837098	0,0353565	0,0219144	0,0138641	0,0732318	0,01477054
0,0219144	0,006837098	0,0353565	0,0219144	0,0148137	0,0784034	0,01678733
0,021654	0,006451762	0,0333058	0,021654	0,0371584	0,2021668	0,06585203
0,0214308	0,006644514	0,0343311	0,021654	0,0518759	0,2850794	0,09778619
0,021654	0,006657471	0,0344001	0,021654	0,0794408	0,442177	0,15902386
0,02091	0,005999515	0,0309037	0,0211704	0,1078035	0,6055682	0,22410624
0,0211704	0,006544564	0,0337993	0,0211704	0,1393447	0,7887951	0,29443143
0,0211704	0,006544564	0,0337993	0,0211704	0,2063356	1,1818502	0,44771409
0,0206496	0,006529	0,0337166	0,02091	0,3774322	2,2013809	0,84534048
0,0206496	0,00661723	0,0341859	0,02091	0,4127129	2,4136183	0,92792527

Perhitungan Tegangan Korona dalam keadaan Standar

($t = 20^\circ\text{C}$ dan $p = 760 \text{ mmHg}$)

Tegangan AC

Data-data pengukuran tegangan korona pada tegangan ac. Data-data pengukuran diubah keadaan standar sesuai dengan rumus faktor koreksi (Syamsir abduh, 2001) :

$$V_s = \frac{V_b}{\delta} \quad (4)$$

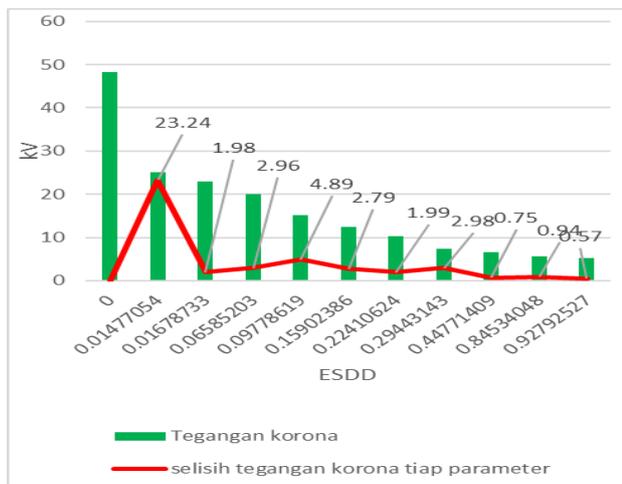
$$\delta = \frac{p_b}{760} \times \frac{273 + 20}{273 + t_b} = \frac{0,386 \cdot p_b}{273 + t_b} \quad (5)$$

Keterangan :

- V_s = Tegangan lompatan pada keadaan standar (kV)
- V_b = Tegangan lompatan yang diukur pada keadaan sebenarnya (kV)
- δ = Faktor koreksi kepadatan udara relatif (*relative air density*)
- p_b = Tekanan udara pada waktu pengujian ($mmHg$)
- t_b = Suhu keliling pada waktu pengujian ($^{\circ}C$)

Tabel 5 Hasil perhitungan data pengukuran pada keadaan standar tegangan ac

ESDD mg/cm^2	Data pengujian kV	Faktor koreksi (δ)	Data tegangan korona keadaan standar kV
0	50,445	0,956306618	48,240
0,01477054	25,965	0,962790799	24,998
0,01678733	23,715	0,970437382	23,014
0,06585203	21,037	0,953344849	20,056
0,09778619	15,750	0,963191984	15,170
0,15902386	12,847	0,963954243	12,384
0,22410624	10,822	0,96067187	10,396
0,29443143	7,717	0,961595201	7,421
0,44771409	6,952	0,959284638	6,669
0,84534048	5,940	0,963836178	5,725
0,92792527	5,332	0,966622822	5,154



Gambar 5 Grafik perubahan tegangan korona terhadap nilai ESDD pada tegangan ac

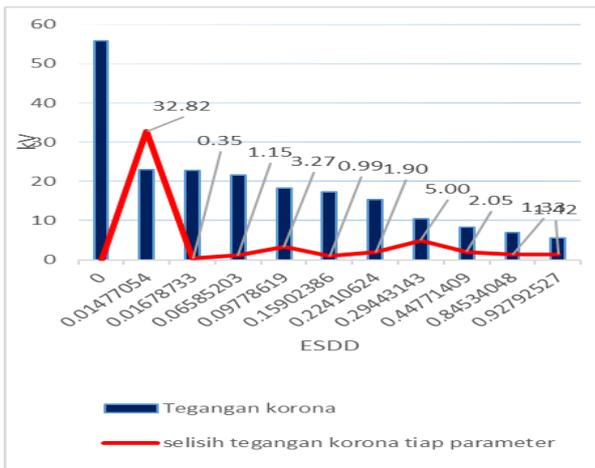
Dari gambar 5 grafik terlihat bahwa semakin tinggi nilai ESDD (Endapan polutan) maka korona akan lebih cepat terjadi dan tegangan akan semakin rendah. Mulai dari nilai ESDD 0,09778619 ($\geq 0,09778619$) korona terjadi di bawah batas tegangan kerja 20 kV sehingga sangat berbahaya karena isolator tidak berfungsi dengan baik dan akan menyebabkan gangguan seperti arus bocor pada saluran distribusi. Selisih tegangan terbesar terjadi pada nilai ESDD antara 0 - 0,01477054 sebesar 23,24. Hal ini disebabkan pada isolator bersih nilai tahanan permukaannya besar sehingga membutuhkan tegangan yang lebih tinggi, sedangkan pada isolator yang permukaannya dilapisi endapan polutan tahanan permukaannya akan turun dan arus bocor dalam orde beberapa miliampere dikarenakan endapan polutan bersifat konduktif sehingga tidak membutuhkan tegangan yang terlalu tinggi untuk terjadi korona.

Tegangan DC

Data-data pengukuran tegangan korona pada tegangan dc.

Tabel 6 Hasil perhitungan data pengukuran pada keadaan standar tegangan dc

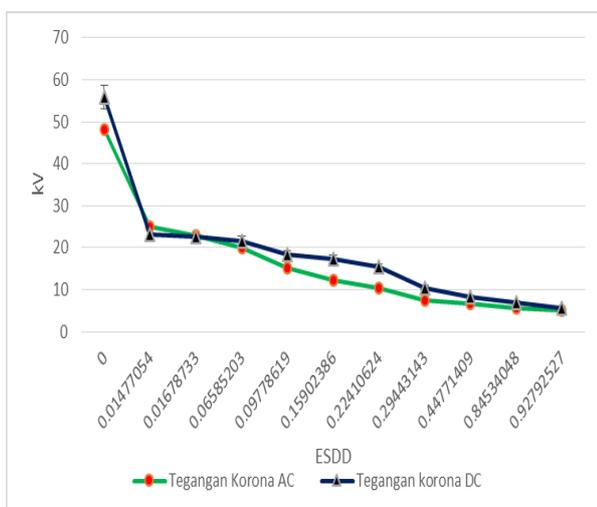
ESDD mg/cm^2	Data pengujian kV	Faktor koreksi (δ)	Data tegangan korona keadaan standar kV
0	58,28	0,95935088	55,915
0,01477054	24,18	0,954498489	23,087
0,01678733	23,75	0,957406958	22,740
0,06585203	22,72	0,950130553	21,587
0,09778619	19,12	0,957643103	18,315
0,15902386	17,95	0,964775787	17,323
0,22410624	16,08	0,958699074	15,420
0,29443143	10,87	0,958483395	10,423
0,44771409	8,75	0,956480132	8,369
0,84534048	7,43	0,947435828	7,040
0,92792527	5,84	0,962469951	5,620



Gambar 6 Grafik perubahan tegangan korona terhadap nilai ESDD pada tegangan dc

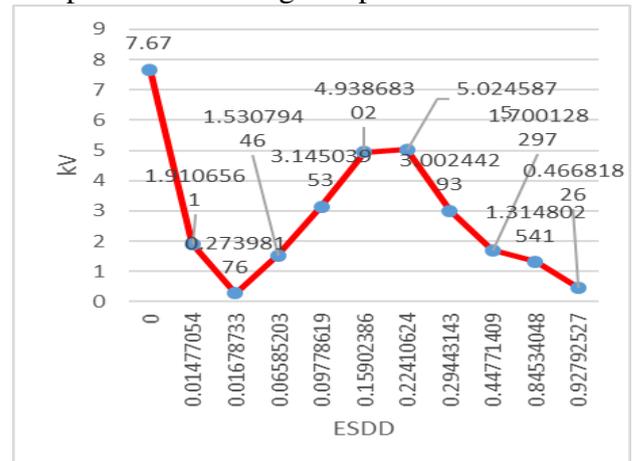
Dari gambar 6 grafik terlihat bahwa semakin tinggi nilai ESDD (Endapan polutan) maka korona akan lebih cepat terjadi dan tegangan akan semakin rendah. Mulai dari nilai ESDD 0,09778619 ($\geq 0,09778619$) korona terjadi di bawah batas tegangan kerja 20 kV sehingga sangat berbahaya karena isolator tidak berfungsi dengan baik dan akan menyebabkan gangguan seperti arus bocor pada saluran distribusi. Selisih tegangan terbesar terjadi pada nilai ESDD antara 0 - 0,01477054 sebesar 32.82.

4.4 Perbandingan Korona pada Tegangan AC dan DC.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan tegangan korona pada tegangan ac dan dc

Pada tegangan ac lebih mudah terjadi korona dibandingkan pada tegangan dc kecuali pada nilai ESDD 0,01477054 dan 0,01678733 tegangan dc untuk terjadi korona lebih rendah dibandingkan tegangan ac. Semakin tinggi nilai ESDD ($> 0,92792527$) maka tegangan saat terjadinya korona baik pada tegangan ac ataupun dc cenderung hampir sama.



Gambar 7 Grafik selisih tegangan dc terhadap tegangan ac

Pada nilai ESDD 0 terjadi selisih terbesar yaitu 7,67. nilai ESDD 0,01678733 korona terjadi pada tegangan hampir sama baik di tegangan ac dan dc. Nilai 0,6585203 – 0,22410624 selisih tegangan ac dan dc semakin besar saat terjadi korona. Nilai ESDD 0,22410624 – 0,92792527 selisih tegangan ac dan dc semakin kecil saat terjadi korona. Nilai ESDD lebih besar dari 0,92792527 maka tegangan saat terjadi korona cenderung hampir sama baik di tegangan ac ataupun dc.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran dan analisa pengaruh endapan polutan terhadap tegangan korona pada isolator *pin post* 20 kV, maka penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi nilai ESDD (endapan polutan) maka semakin rendah tegangan korona pada isolator pin post 20 kV baik pada tegangan ac ataupun tegangan dc.
2. Mulai dari nilai ESDD 0,09778619 ($\geq 0,09778619$) korona terjadi di bawah batas tegangan kerja 20 kV baik di tegangan ac ataupun dc sehingga sangat

berbahaya karena isolator tidak berfungsi dengan baik dan akan menyebabkan gangguan seperti arus bocor pada saluran distribusi.

3. Pada nilai ESDD (endapan polutan) antara 0 - 0,01477054 terjadi selisih terbesar terhadap tegangan korona pada tegangan ac sebesar 23,24 dan pada tegangan dc sebesar 32,82.
4. Pada tegangan ac lebih mudah terjadi korona dibandingkan pada tegangan dc kecuali pada nilai ESDD 0,01477054 dan 0,01678733 tegangan dc untuk terjadi korona lebih rendah dibandingkan tegangan ac.
5. Semakin tinggi nilai ESDD (>0,927925 27) maka tegangan saat terjadinya korona baik pada tegangan ac ataupun dc cenderung hampir sama.

Terpolusi. Jurnal teknik elektro USU Vol. 8 No. 2

Sunkel, Stuart. 2011. *Terco Manual Books*. Stockholm : Terco.

Wilvian. 2012. *Pengaruh Kelembaban terhadap Tegangan Flashover AC Isolator Piring*. Medan : Skripsi Usu

Ginting, irmahidayati. 2015. *Polusi di Indonesia dan Efeknya* [online] Available at : <http://www.kompasiana.com>. [accessed 19/8/2015, Jam 11 PM]

DAFTAR PUSTAKA

Abduh, syamsir. 2001. *Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta : Salemba Teknika.

Angelina. 2012. *Pengaruh Kelembaban Udara terhadap Arus Bocor Isolator Pin post 20 kV Terpolusi*. Medan : Skripsi USU

Juliandhy, Tedy. 2014. *Efek Kegagalan Alat Flue Gas Desulphur terhadap Tegangan Lewat Denyar Isolator di Gardu Induk Pembangkitan Tanjung Jati B Jepara*. Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol : 3 No. 1

PT.PLN (Persero). 2010. *Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta : PT.PLN (Persero)

Tobing, Bonggas L. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, edisi kedua. Jakarta : Erlangga

Sinaga, Zico Venancio dan Hendra Zulkarnain. 2014. *Pengaruh Pembersihan oleh Hujan terhadap Arus Bocor Isolator Pin-Post20 KV*