

Analisis Pengaruh Polutan *NaCl* Pada Isolator Keramik Tipe *Post-Pin*

Nur Fadiah Baso

Fakultas Teknik Jurusan Elektro Universitas Muslim Indonesia
nurfadiah.baso@umi.ac.id



Abstract

Penelitian yang tertuang dalam makalah ini merupakan hasil dari serangkaian pengujian isolator tipe *Post Pin* yang diberikan larutan polutan *NaCl* (garam). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh konsentrasi *Equivalent Salt Deposit Density* (*ESDD*) yang terkandung dalam larutan polutan *NaCl* (garam) terhadap *flashover* dan sudut kontak permukaan pada isolator *Post Pin*. Berdasarkan hasil penelitian dilakukan dengan menyemprotkan larutan *NaCl* dengan konsentrasi sebanyak 10 gr, 20 gr, 30 gr, 40 gr, dan 50 gr untuk setiap isolator. Pada setiap konsentrasi *NaCl*, penyemprotan diberikan sebanyak 6 kali dengan selang waktu ± 15 menit. Setelah dilapisi polutan, isolator didiamkan selama 24 jam dan kemudian diuji untuk mendapatkan nilai tegangan *flashover*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi *ESDD* maka tegangan *flashover* yang terjadi pada isolator semakin menurun. Dan semakin besar konsentrasi *ESDD* maka nilai sudut kontak pada permukaan isolator keramik tipe *Post Pin* semakin kecil.

Keywords: isolator, larutan *NaCl*, tegangan *flashover*, sudut kontak, *ESDD*

I. PENDAHULUAN

Salah satu peralatan penting yang menopang suksesnya kinerja penyaluran energi listrik adalah isolator. Isolator diperlukan untuk mengisolasi bagian bertegangan dengan bagian netral atau tanah serta sebagai pendukung mekanis [1]. Bahan isolator yang banyak digunakan di Indonesia adalah keramik dan kaca. Kelebihan dari kedua jenis bahan ini yakni sirkulasi panas yang baik, konduktivitas panasnya rendah, tidak korosif, keras dan kuat namun mempunyai rapat massa yang tinggi dan bersifat menyerap air (*hygroscopic*) sehingga mudah terjadi arus bocor pada permukaan yang dapat memicu terjadinya *flashover* pada tegangan yang lebih rendah [2]. Dalam operasinya sebagai isolator pasangan luar (*outdoor insulator*), sering kali jaringan maupun transmisi melalui daerah / kawasan pantai dan industri. Daerah ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sebuah material isolasi [3]. Kebanyakan daerah-daerah yang berada disekitaran pantai merupakan sumber terbesar pengotoran garam pada permukaan isolator. Pengotoran garam dapat menyebabkan adanya arus bocor dan terjadinya *flashover* atau kegagalan sebuah isolator. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh tingkat kepadatan garam (*NaCl*) *Equivalent Salt Deposit Density* (*ESDD*) pada permukaan isolator yang dapat mengakibatkan terjadinya

flashover dan pengaruhnya terhadap nilai sudut kontak permukaan isolator.

Makalah ini melaporkan hasil penelitian pengaruh kontaminan polutan terhadap kinerja isolator. Kontaminan polutan yang digunakan adalah larutan *NaCl*. Sedangkan parameter kinerja isolator yang diamati adalah tegangan *flashover* dan sudut kontak permukaan isolator. Berdasarkan data yang diperoleh maka kemudian digunakan untuk menganalisa pengaruh tingkat kepadatan garam (*NaCl*) *Equivalent Salt Deposit Density* (*ESDD*) terhadap kinerja isolator.

II. KAJIAN LITERATUR

1. Isolator *Post Pin*

Isolator jenis pasak atau *Post Pin* digunakan pada tiang-tiang lurus (*tangent pole*) dan tiang sudut (*angle pole*) untuk sudut 5° sampai 30° . Banyak terbuat dari bahan porselin maupun bahan gelas yang dibentuk dalam bentuk kepingan dan bagian bawahnya diberi suatu pasak yang terbuat dari bahan besi atau baja tempaan. Kekuatan tarik isolator jenis pasak ini lebih rendah bila dibandingkan dengan isolator jenis gantung [4].

Isolator *Post Pin* terdapat di saluran distribusi dan banyak melewati daerah pantai, daerah industri, dan juga daerah dengan kelembaban tinggi yang merupakan penghasil polutan pada permukaan isolator.

2. *ESDD* (*Equivalent Salt Deposit Density*)

ESDD merupakan tingkat kepadatan garam equivalent dari larutan pengotor yang menempel pada permukaan isolator, yang diformulasikan dengan persamaan sebagai berikut [4] :

1. Persamaan ESDD

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{s} \tag{1}$$

$$D_1 = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10} \tag{2}$$

$$D_2 = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10} \tag{3}$$

2. Persamaan Konduktivitas

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - b (\theta - 20)] \tag{4}$$

Dengan :

ESDD = Equivalent Salt Deposit Density (mg/cm²).

V = Volume air pencuci

D1 = Equivalent konsentrasi garam, air, kapas sebelum ada polutan (mg/cm³)

D2 = Equivalent konsentrasi garam, air, kapas setelah ada polutan (mg/cm³)

S = Luas seluruh permukaan isolator (cm²).

σ₂₀ = Konduktivitas pada suhu 20°

b = Faktor korelasi pada suhu θ (IEC 507)

Untuk menentukan nilai ESDD maka perlu dicari terlebih dahulu nilai b dengan melakukan pendekatan interpolasi pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Faktor korelasi (b)

θ (° c) X	b
5	0.03156
10	0.02817
20	0.02277
30	0.01905

Untuk menghitung tegangan flashover digunakan persamaan :

$$V_{FO} = V_{ukur} \times a \tag{5}$$

dengan :

a = ratio trafo

Sedangkan untuk menghitung kerapatan udara digunakan persamaan :

$$\delta = \frac{0,386 \times Bar}{273 + T} \times \frac{760}{1013} \tag{6}$$

Setelah didapatkan kerapatan udara, maka dapat dicari nilai flashover standar dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V_{FOS} = \frac{V_{FORata}}{\delta} \pi r^2 \tag{7}$$

3. Arus Bocor Pada Permukaan Isolator

Arus bocor dapat disebabkan karena adanya bagian konduktif pada permukaan isolator. Senyawa garam pada larutan pengotor isolator akan larut kedalam pelarut polar H₂O yang berasal dari kabut (uap) air dan membentuk larutan elektrolit. Konduktivitas larutan elektrolit ini akan semakin tinggi bersamaan dengan naiknya ESDD larutan polutan [5]. Arus bocor yang mengalir mengakibatkan panas dan penguapan pada bagian permukaan isolator sehingga terbentuk pita kering. Daerah pita kering mempunyai tahanan yang lebih besar jika dibandingkan daerah terkotori lainnya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya peluahan muatan (discharge) melintasi pita kering. Bila busur api memanjang melintasi seluruh permukaan isolator maka akan terjadi flashover [6].

4. Sudut Kontak Permukaan

Sudut kontak permukaan merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik. Sudut kontak permukaan yang lebih kecil dari 90° didefinisikan sebagai hidrofilik atau menyerap air dan sudut kontak permukaan yang lebih besar dari 90° didefinisikan sebagai hidrofobik atau menolak air [7].

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui adanya pengaruh polutan garam terhadap terjadinya *flashover* dan sudut kontak permukaan pada isolator dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Alat dan Bahan yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

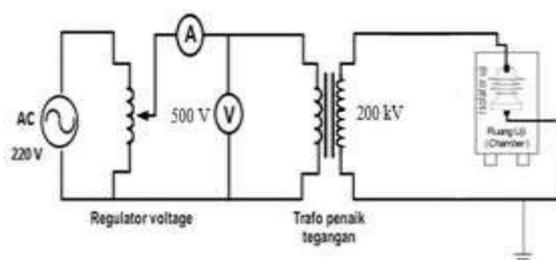
1. Pembangkit tegangan tinggi arus bolak-balik frekuensi daya
2. Isolator tipe *Post Pin*
3. *Fog Chamber*
4. *Compressor*
5. Seperangkat alat ukur sudut kontak
6. Kamera digital
7. Konduktivitas Meter
8. Timbangan Digital
9. Pipet Tetes
10. Barometer
11. Gelas ukur
12. *Handsocon*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

Air Aquadest, Kaolin, *NaCl*, Larutan polutan *NaCl*, Kapas.

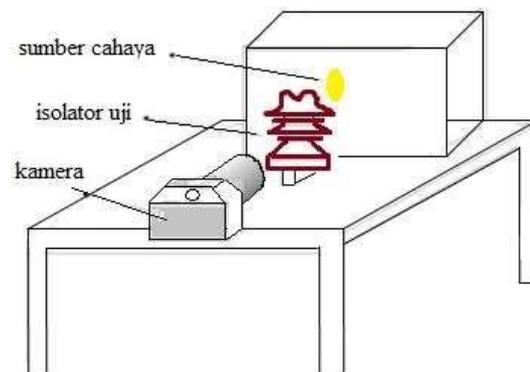
2. Teknik Pengambilan Data

Pada pengujian ini isolator ditempatkan di dalam *fog chamber* atau ruangan kecil tertutup yang sebelumnya telah dilubangi, kemudian dari lubang tersebut disemprotkan larutan *NaCl* dengan konsentrasi sebanyak 10 gr, 20 gr, 30 gr, 40 gr, dan 50 gr. Pada setiap konsentrasi *NaCl*, penyemprotan diberikan sebanyak 6 kali dengan selang waktu ± 15 menit. Setelah dilapisi polutan, isolator dibiarkan selama 24 jam. Isolator tersebut kemudian diuji dengan menggunakan pembangkit tegangan tinggi bolak-balik (AC) frekuensi 50 Hz, untuk mendapatkan nilai tegangan *flashover*.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Pengujian Tegangan *Flashover*

Pengujian selanjutnya yaitu pengukuran sudut kontak permukaan dengan meneteskan air sebanyak 50 μl di atas permukaan isolator. Kemudian isolator dicuci untuk mendapatkan nilai konduktivitasnya, sehingga dapat diukur tingkat kepadatan garam (*ESDD*) pada isolator.



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Sudut Kontak

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian yang telah dilakukan pada isolator tipe *Post Pin* dengan memberikan polutan dengan berbagai konsentrasi yang berbeda. Data yang diperoleh pada saat pengujian yaitu tegangan *flashover*, konduktivitas larutan, dan sudut kontak pada permukaan isolator.

1. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover*

Adapun hasil perhitungan tegangan *flashover* rata-rata dari setiap isolator dengan konsentrasi *NaCl* yang berbeda dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Rata-rata

Konsentrasi <i>NaCl</i> (gram)	VFO rata-rata (kV)
10	84,52
20	73,62
30	67,52
40	60
50	53,44

Setelah didapatkan nilai rata-rata *flashover*, selanjutnya mencari nilai kerapatan udara dengan persamaan 6. Tegangan *Flashover* standar dapat ditentukan dengan persamaan 7. Pada penelitian ini telah dilakukan perhitungan nilai tegangan *flashover* rata-rata, kerapatan udara, dan tegangan

flashover standar dari 5 sampel isolator yang diberi polutan dengan konsentrasi *NaCl* yang berbeda. Nilai yang telah didapatkan tersebut dapat dilihat pada tabel 3. berikut ini :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kerapatan Udara, Dan Tegangan *Flashover* Standar.

Konsentrasi <i>NaCl</i> (gram)	δ (N/m ²)	V _{FOS} (kV)
10	0,961	87,95
20	0,961	76,61
30	0,961	70,26
40	0,961	62,43
50	0,961	55,61

2. Hasil Pengukuran *ESDD*

Untuk menentukan nilai *ESDD* maka perlu dicari terlebih dahulu nilai *b* dengan

Tabel 4. Hasil Perhitungan *ESDD* untuk tiap konsentrasi polutan *NaCl* yang berbeda

No	Konsentrasi <i>NaCl</i> (gram)	((((D ₁ (mg/cm ³)	D ₂ (mg/cm ³)	<i>ESDD</i> (mg/cm ²)
1	10	0,17	4,36	0,141666	3,590881	0,000006086	0,000169984	0,000117405
2	20	0,17	8,33	0,141666	6,834043	0,000006086	0,000329814	0,000231896
3	30	0,17	12,27	0,141666	10,047069	0,000006086	0,000490514	0,000347011
4	40	0,17	15,18	0,141666	12,358524	0,000006086	0,000607123	0,000430542
5	50	0,17	17,37	0,141666	14,039051	0,000006086	0,000692323	0,000491574

3. Pengukuran Sudut Kontak

Pengukuran sudut kontak pada isolator dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, apakah bersifat hidrofobik atau hidrofilik. Hasil pengukuran nilai sudut kontak yang didapatkan dari 5 sampel isolator, yang dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap sampel dapat dilihat pada tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Hasil Pengukuran sudut kontak rata-rata untuk setiap konsentrasi polutan *NaCl* yang berbeda.

Konsentrasi <i>NaCl</i> (gram)	Sudut Kontak (°)
10	18,81
20	17,06
30	15,86
40	14,58
50	12,88

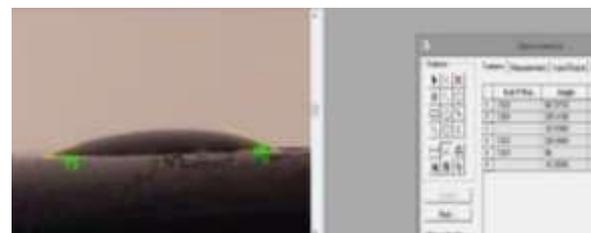
Pengukuran sudut kontak dilakukan dengan menggunakan komputer dan software IPWin4, dengan terlebih dahulu menentukan sudut pada kedua sisi gambar tetes air (a) di atas permukaan isolator. Selanjutnya besar sudut kontak dari gambar tersebut akan secara otomatis ditampilkan pada layar komputer yang digunakan

melakukan pendekatan interpolasi seperti pada tabel 1. Dengan suhu larutan sebelum dipakai mencuci isolator berpolutan yaitu 28,5° C dan suhu setelah dipakai mencuci isolator berpolutan yaitu 29,1° C.

Nilai dari konsentrasi garam yang terkandung dalam polutan yang ada pada

isolator dapat dicari dengan persamaan 2 dan persamaan 3, dan untuk mendapatkan nilai *ESDD* dapat dicari dengan persamaan 1. Nilai-nilai yang didapatkan tersebut dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini :

(b). Proses pengukuran sudut kontak menggunakan software IPWin4 dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini :



(a)

(b)

Gambar 3. Pengukuran Sudut Kontak Menggunakan Software IPWin4

Fog chamber berfungsi sebagai tempat dilakukannya penyemprotan polutan garam pada isolator. *Fog chamber* ditunjukkan pada gambar 4 dibawah ini :



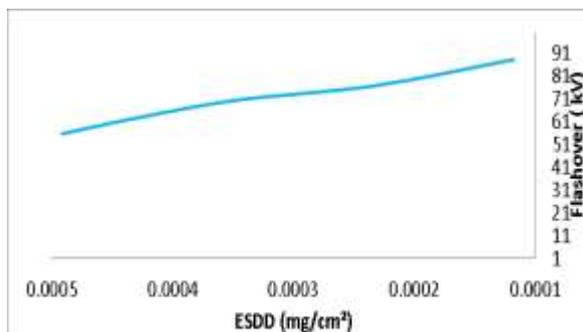
Gambar 4. Isolator yang berada dalam fog chamber

Pada penelitian ini telah diperoleh hasil dari perhitungan nilai tegangan flashover standar dengan menggunakan persamaan 7, perhitungan nilai ESDD dengan menggunakan persamaan 1, dan pengukuran sudut kontak dengan menggunakan Software IPWin4 yang dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini :

Tabel 6. Hasil perhitungan nilai tegangan flashover standar, ESDD, dan sudut kontak

Konsentrasi NaCl (gram)	Flashover (kV)	ESDD (mg/cm ²)	Sudut Kontak (°)
10	87,95	0,000117405	18,81
20	76,61	0,000231896	17,06
30	70,26	0,000347011	15,86
40	62,43	0,000430542	14,58
50	55,61	0,000491574	12,88

Setelah diperoleh nilai tegangan flashover standar dan nilai ESDD seperti yang terlihat pada tabel 6 maka karakteristik hubungan ESDD terhadap Flashover dapat dilihat pada grafik di bawah ini :

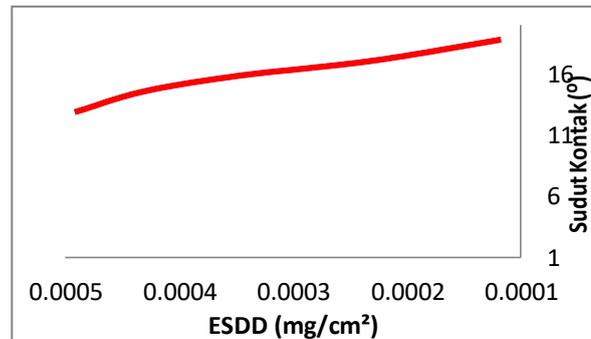


Gambar 5. Grafik Karakteristik Hubungan ESDD Terhadap Flashover

Pengujian flashover pada penelitian ini dilakukan dengan variasi konsentrasi ESDD sebanyak 10 gr, 20 gr, 30 gr, 40 gr, dan 50 gr untuk setiap isolator. Berdasarkan tabel 6, nilai tegangan flashover tertinggi terjadi dengan ketebalan ESDD 0,000117405 mg/cm², yaitu 87,95 kV. Sedangkan yang terendah terjadi dengan ketebalan ESDD 0,000491574 mg/cm², yaitu 55,61 kV. Senyawa garam yang terkandung pada larutan pengotor isolator akan larut kedalam

pelarut polar H₂O yang berasal dari air aquadest yang digunakan dan membentuk larutan elektrolit.

Setelah diperoleh nilai sudut kontak dan nilai ESDD seperti yang terlihat pada tabel 6 maka karakteristik hubungan ESDD terhadap sudut kontak dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 6. Grafik karakteristik hubungan ESDD terhadap Sudut Kontak

Besarnya sudut kontak permukaan bahan isolator terhadap tetesan air diperoleh berdasarkan hasil pengamatan langsung melalui pemotretan kamera digital yang hasil pemotretannya diolah dengan menggunakan seperangkat komputer. Hasil pemotretan sudut kontak pada permukaan isolator dapat dilihat pada gambar 3. Sedangkan, berdasarkan tabel 6 nilai sudut kontak terbesar terjadi dengan ketebalan ESDD 0,000117405 mg/cm², yaitu 18,81 derajat. Sedangkan yang terendah terjadi dengan ketebalan ESDD 0,000491574 mg/cm², yaitu 12,88 derajat. Sifat adhesif yang dimiliki isolator keramik tipe Post Pin menyebabkan gaya tarik menarik antara molekul NaCl dengan isolator keramik tipe Post Pin semakin turun. Karena isolator tipe Post Pin mempunyai bentuk profil yang baik, sehingga mampu meneteskan atau mengalirkan kontaminan dengan baik dari permukaannya.

V. KESIMPULAN Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan seperti di bawah ini:

1. Semakin tinggi nilai ESDD, maka semakin kecil nilai flashover yang terjadi pada isolator. Untuk konsentrasi NaCl 10 gr diperoleh tegangan flashover standar sebesar 87,95 kV, untuk konsentrasi NaCl 20 gr diperoleh tegangan flashover standar sebesar 76,61 kV, untuk konsentrasi NaCl 30 gr diperoleh

tegangan *flashover* standar sebesar 70,26 kV, untuk konsentrasi *NaCl* 40 gr diperoleh tegangan *flashover* standar sebesar 62,43 kV, sedangkan untuk konsentrasi *NaCl* 50 gr diperoleh tegangan *flashover* standar sebesar 55,61 Kv. Hal ini karena *NaCl* memiliki sifat konduktif sehingga konduktifitas elektrolit ini akan semakin tinggi bersamaan dengan naiknya *ESDD* larutan pengotor. Jadi secara keseluruhan, semakin meningkatnya konsentrasi *ESDD*, maka tegangan *flashover* semakin menurun.

2. Semakin tinggi nilai *ESDD* maka semakin kecil nilai sudut kontak pada isolator Untuk Konsentrasi *NaCl* 10 gr diperoleh nilai sudut kontak rata-rata sebesar 18,81 derajat, untuk konsentrasi *NaCl* 20 gr diperoleh nilai sudut kontak rata-rata sebesar 17,06 derajat, untuk konsentrasi *NaCl* 30 gr diperoleh nilai sudut kontak rata-rata sebesar 15,86 derajat, untuk konsentrasi *NaCl* 40 gr diperoleh nilai sudut kontak rata-rata sebesar 14,58 derajat, sedangkan untuk konsentrasi *NaCl* 50 gr diperoleh nilai sudut kontak rata-rata sebesar 12,88 derajat. Hal ini terjadi karena tumpukan dari molekul-molekul polutan *NaCl* yang mengikat molekul-molekul air sehingga dapat dengan mudah mengalirkan tetesan air yang dilapisi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada keluarga yang memberikan dukungan moral dari awal hingga akhir dan juga rekan-rekan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Muslim Indonesia yang telah meluangkan waktu dan tenaga dalam proses penyelesaian makalah ini.

REFERENSI

- [1] Harda Arya, E. "Analisa medan listrik pada isolator suspension dengan berbagai tingkat kontaminasi buatan", Jurnal Sainstek STT Pekanbaru, Vol. 4 No.1. 2016.
- [2] Indah Pratiwi, A., Asri, M., Samad Yusuf, A. "Analisis Tegangan Tembus Dan Hidrofobisitas Isolator Nano Komposit Resin Epoksi Dan SiO₂". Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol.3 No.2, Juli 2021.
- [3] Syakur, A., Kartono., Wahyu Wijayanti, R. "Pengaruh Kontaminan terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor pada Sampel Isolator Resin Epoksi Silane". Jurnal Rekayasa Elektriika Vol. 10, No. 1, April 2012.
- [4] Wisudawan Mahalli, W. 2018. " Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan Slow Rate Of Rise Test Terhadap Flashover Isolator Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin di Daerah Puger. Skripsi. Universitas Jember. Jember
- [5] Ahmed Salem, A., Abd-Rahman, R., Rahiman, W., Ahmed Al-Gailani, S., Mgamal Al-Ameri, S., Taufiq Ishak, M., Ullah Sheikh, U. " Pollution Flashover Under Different Contamination Profiles on High Voltage Insulator: Numerical and Experiment Investigation. IEEE Access, March 2021
- [6] Lan, L., Zhang, G, Wang, Y., Wen, X., Wang, W., Pei, H. "The Influence of Natural Contamination on Pollution Flashover Voltage Waveform of Porcelain Insulators in Heavily Polluted Area". IEEE Access. September 2019
- [7] Magos, I., Balan, C. " Contact Angles on Spherical Hydrophilic Surfaces". IEEE. 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), May 2021.