

PEMETAAN INTENSITAS POLUSI PADA ISOLATOR JARINGAN TRANSMISI

Lanto Mohamad Kamil Amali

Dosen Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo

email: kamilamali_gtlo@yahoo.co.id

Abstract—The problem in this study were: (1) how the intensity of pollution sector in the region polluted insulator, (2) how polluted insulator surface conductivity Parent substations in each region, (3) how to profile an appropriate insulators for substations with different levels of intensity of pollution sector in the region. To solve this problem pollutant sampling conducted on ceramic insulators on the channel milestone substation switchyard each region at two different points, namely at the top of the insulator and the bottom fin insulators. The results showed the intensity of pollution for every region of substation at a concentration of 0.50 g / l has a value of ESDD with dissolved heavy pollutant levels ($> 0.1 \text{ mg/cm}^2$), while the value of NSDD categorized insoluble low-level pollutants. Maximum leakage current value obtained by GI. Makale 4.73 mA, GI. Sungguminasa 4.47 mA, GI. Tello 4.60 mA, GI. Long Tallo 4.67 mA and GI. Pangkep 4.87 mA.

Keyword : *Insulator, Pollutan, ESDD, NSDD*

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik terdiri atas tiga komponen utama yaitu: sistem pembangkit, sistem transmisi dan distribusi, serta beban. Energi listrik yang dibangkitkan pada sistem pembangkit dikirim melalui jaringan transmisi dan distribusi ke beban dengan kuantitas dan kualitas yang baik. Salah satu komponen utama dari jaringan sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik adalah isolator.

Fungsi utama isolator pada jaringan transmisi maupun jaringan distribusi tenaga listrik, yaitu mengisolir konduktor jaringan yang bertegangan dengan tiang penyangga

konduktor agar arus listrik tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah. Jika isolator tidak berfungsi dengan baik, daya listrik yang seharusnya dikirimkan dan dibagikan pada konsumen akan mempunyai efisiensi rendah karena sebagian tenaga listrik itu akan hilang diteruskan ke tanah melalui isolator tersebut. Akibat lain yang mungkin terjadi adalah gangguan hubung singkat.

Ada beberapa hal yang dapat membuat isolator gagal melaksanakan fungsinya, salah satu diantaranya adalah peristiwa lewat-denyar (*flashover*). Terjadinya lewat denyar pada suatu isolator tergantung kepada : kekuatan isolasi isolator, tegangan yang dipikul isolator, temperatur, tekanan dan kelembaban udara di sekitar isolator, dan konduktivitas polutan yang menempel pada isolator tersebut (Tobing,L.B ; Lubis, M, 2007).

Polutan yang menempel pada suatu isolator berasal dari polutan yang terdapat pada udara disekitar isolator tersebut. Polutan yang terbawa oleh udara dapat menempel pada permukaan isolator karena gaya gravitasi, tarikan elektrostatis oleh partikel-partikel bermuatan listrik, perpindahan dielektrophoretik dari partikel-partikel yang mempunyai permitivitas tinggi ke dalam ruang yang mempunyai divergensi medan magnet besar, penguapan larutan atau endapan, dan tangkapan aerodinamik.

Efek aerodinamik ini tidak hanya dijumpai di daerah yang kotor (berdebu), tetapi juga pada isolator yang terpasang jauh (puluhan km) dari sumber debu. Hal ini terjadi karena debu halus dapat diterbangkan oleh angin sampai jarak yang sangat jauh. Jika debu tersebut mengandung garam dan plankton kering (yang berasal dari terpecahnya ombak laut), hal ini akan menimbulkan polusi pada isolator yang terkena debu tersebut.

Mengingat bahwa efek aerodinamik ini tidak hanya dijumpai di daerah yang kotor (berdebu), tetapi juga pada isolator yang terpasang jauh (puluhan km) dari sumber debu, maka dilakukan penelitian pemetaan di beberapa lokasi gardu induk jaringan transmisi yang tersebar di wilayah kerja PLN Sulselrabar.

II. POLUSI PADA ISOLATOR

Pada umumnya, polusi pada isolator menurut sumbernya dapat dibagi dalam empat kategori (IEC Publication 815, SPLN 10-3B: 1993):

A. Polusi dari Laut

Tingkat polusi maksimum dari isolator sangat berhubungan dengan jarak lokasi dari laut. Makin jauh dari laut makin sedikit penumpukan yang terjadi. Polusi ini terbawa ke permukaan isolator oleh angin. Zat polutan yang berasal dari laut berupa komponen konduktif yang bersifat larut yang terdiri dari garam-garam seperti Natrium Chlorida (NaCl), Magnesium Chlorida (MgCl) dan Natrium Nitrat (NaNO_3).

B. Polusi dari Industri

Komposisi kimia dari polutan jenis ini sangat beragam dan bisa membentuk lapisan yang menempel kuat pada permukaan isolator, seperti: jelaga dan asap dari cerobong pabrik serta debu dari pabrik semen.

C. Polusi dari Daerah Padang Pasir

Timbunan polutan tak larut (NSDD = *Nonsoluble Deposit Density*) pada daerah padang pasir pada umumnya lebih banyak dari pada di daerah polusi laut. Pada daerah tertentu seringkali terjadi kombinasi dari keduanya, seperti pada daerah berpasir yang dekat pantai. Garam laut yang menempel pada permukaan isolator terlapis oleh debu yang terbawa dari padang pasir. Pada daerah tersebut besarnya ESDD dan NSDD bisa melebihi $1,0 \text{ mg/cm}^2$ (IEC Publication 815).

D. Polusi dari Gunung Berapi

Polutan yang berasal dari letusan gunung berapi berbentuk debu-debu dari berbagai ukuran dengan senyawa utama

silikat (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3). Nilai NSDD pada daerah ini dapat mencapai dan $0,8 \text{ mg/cm}^2$ (Patras, L.S *et al*, 2007).

III. METODE EKSPERIMEN

A. Tempat dan Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan di daerah kerja PT. PLN (Persero) Area Penyaluran dan Pengatur Beban (AP2B) Sistem Sulsel khususnya pada Gardu Induk: Makale, Sungguminasa, Tello, Tallo Lama, Pangkep yang masing-masing mewakili kawasan pegunungan, persawahan, perkotaan, pantai dan perindustrian. Data yang diperoleh diuji di Laboratorium Kimia Analitik dan Laboratorium Tegangan Tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Metode dan prosedur yang digunakan dalam menganalisis intensitas polusi gardu induk masing-masing kawasan difokuskan pada dua analisis yaitu analisis sifat kimia untuk menentukan komposisi unsur dan konduktifitas larutan, dan analisis sifat listrik untuk mengetahui konduktifitas arus bocor pada permukaan isolator.

B. Metode Analisis Sifat Kimia

Komposisi unsur kimia dari sampel polutan masing-masing gardu induk, digunakan spektrofotometer, dengan alat ini dapat ditentukan konsentrasi ion-ion logam atau komponen polutan yang bersifat terlarut serta komponen polutan tidak larut. Pengujian sampel polutan dari masing-masing gardu induk dilakukan pada dua bagian dari sirip isolator yakni bagian atas sirip isolator (kode A) dan bagian bawah sirip isolator (kode B) (Taufik, A, 2008).

C. Metode Pengukuran Konduktivitas Larutan Polutan

Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan alat ukur konduktometer Metrhom. Alat ini mempunyai daerah pengukuran mulai dari $0,1 \mu\text{S}$, sampai 1000 mS . Alat ini telah dilengkapi dengan koreksi temperatur berupa ATC- Automatic Temperatur Compensation sehingga data yang didapat tidak perlu dikonversikan lagi. Setelah dilakukan pengukuran konduktivitas langkah selanjutnya menentukan nilai ESDD dan

NSDD menggunakan persamaan (Patras,L.S; Pakpahan,M.P;Suwarno,2007):

$$ESDD = \frac{S_a \cdot V_d}{A_{ins}} \quad (1)$$

dimana:

ESDD= *Equivalent Salt Deposit Density*, mg/cm²

S_a = Kadar garam NaCl, kg/m³

V_d = Volume air destilasi, cm³

A_{ins} = Luas bagian permukaan isolator tempat pengambilan sampel polutan, cm²

$$NSDD = \frac{M_2 - M_1}{A_{ins}} \quad (2)$$

dimana:

NSDD = *Nonsoluble Deposit Density*, mg/cm²

M₁ = Massa kapas kering bersih (tanpa polutan), mg

M₂ = Massa kapas kering terkontaminasi (berpolutan), mg

A_{ins} = Luas bagian permukaan isolator tempat pengambilan sampel polutan, cm²

D. Metode pengukuran konduktivitas permukaan isolator

Pengukuran konduktivitas dilakukan untuk empat kondisi keadaan (Manjang,S; Herman, 2007), yaitu :

1. Kondisi bersih kering (tanpa polutan dan tanpa pembasahan).
2. Kondisi bersih basah (tanpa polutan dan dengan pembasahan)
3. Kondisi terpolusi kering (dengan polutan dan tanpa pembasahan)
4. Kondisi terpolusi basah (dengan polutan serta pembasahan)

Prosedur dan skema eksperimen pengukuran konduktivitas permukaan isolator pada kondisi bersih-kering dan bersih-basah ditunjukkan seperti dibawah. Pengukuran pada dua buah isolator keramik tongak 40 kV dan 70 kV.

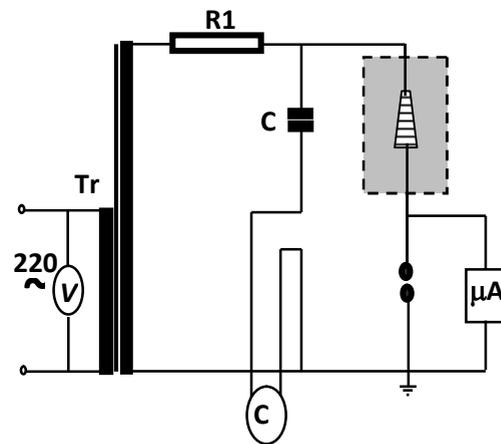
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Komposisi Unsur Kimia

Dari analisa komposisi unsur dengan menggunakan spektrofotometer didapatkan

rata-rata komposisi unsur dari sirip bagian atas dan bawah Isolator polutan gardu induk tiap kawasan seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan tabel 1 kandungan kimia terbesar adalah Na dan Cl kemudian disusul S, Ca, Mg. Untuk daerah industri GI. Pangkep tidak ditemukan kandungan Na dan Cl , akan tetapi kandungan unsur Besi (Fe) cukup tinggi sebesar 2,970%, unsur besi (Fe) ini juga ditemukan di daerah GI. Makale sebesar 0,265%.



Gambar 1. Skema pengukuran arus bocor pada isolator uji

Keterangan gambar:

Tr : Trafo tegangan tinggi, 220 V/100 kV

C : Kapasitor tegangan tinggi, 100pF

R₁ : Tahanan pelindung, 10 MOhm

SB : Sela bola untuk proteksi tegangan lebih, jarak 0,5 cm

µA : Miliamperemeter digital bolak-balik

S : Sampel uji (isolator uji)

CF : Alat ukur tegangan puncak *Chubb & Fortesque*

Tabel 1. Komposisi unsur polutan gardu induk tiap kawasan

Unsur	Komposisi Unsur pada Larutan Uji %				
	Gardu Induk				
	Mkale	S.Minas a	Tello	Tallo Lam a	Pngk P
Tembaga (Cu)	0	0	0	0	0
Kalsium (Ca)	0,188	0,975	0,220	1,595	0.640
Magnesium (Mg)	0,205	0,290	0,095	0,435	0.990
Chlorida (Cl)	12,99 0	19,275	19,03 5	3,695	0

Natrium (Na)	20,050	26,890	43,380	1,450	0
Posfor (P)	0,935	0,245	0,085	0,400	0,095
Besi (Fe)	0,265	0	0	0	2,970
Sulfur (S)	0,025	1,050	0,520	0,085	0,095

B. Pengukuran Konduktivitas larutan Polutan

Proses pengujian pengukuran konduktivitas larutan polutan gardu induk tiap kawasan, dilakukan dengan 5 konsentrasi larutan yang berbeda, yakni: 0,10 g/l, 0,20 g/l, 0,30 g/l, 0,40 g/l, dan 0,50 g/l, dan diperoleh rata-rata konsentrasi tiap larutan dari sirip atas dan bawah isolator pada Gardu Induk tiap kawasan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Konduktivitas larutan polutan Gardu Induk tiap Kawasan

Konsentrasi Larutan (g/l)	Konduktivitas Larutan Uji (µS/cm)				
	Gardu Induk				
	Mkle	S.minasa	Tello	Tallo Lama	Pngkp
0,10	0	194	129	130,5	0
0,20	611,5	594,5	485	600	310,5
0,30	718	751,5	1382	991	1475
0,40	2760	2860	2655	2940	2705
0,50	3930	4100	3820	4225	3835

Dari hasil pengujian konduktivitas di atas, nampak bahwa penambahan konsentrasi larutan polutan akan menyebabkan peningkatan konduktivitas larutan uji.

C. Penentuan ESDD dan NSDD

Hasil pengukuran konduktivitas pada Tabel 2 serta dengan menghitung kadar garam NaCl (kg/m³) dalam larutan polutan menggunakan persamaan (Patras,L.S; Pakpahan,M.P;Suwarno,2007) :

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

dimana :

S_a = kadar garam NaCl, kg/m³

σ₂₀ = konduktivitas garam pada 20 °C, µS/cm

Dapat dihitung nilai ESDD pada konsentrasi polutan terbesar yakni 0,50 g/l dengan menggunakan persamaan 1, sehingga diperoleh nilai rata-rata ESDD dari sirip atas dan bawah isolator Gardu Induk tiap kawasan seperti pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 di atas, nampak bahwa nilai ESDD rata-rata polutan Gardu Induk tiap

kawasan diklasifikasikan pada level polusi berat..

Dengan menggunakan persamaan 2. Dapat dihitung nilai rata-rata NSDD seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai NSDD Polutan Gardu Induk tiap kawasan

NSDD (mg/cm ²)				
Gardu Induk				
Mkle	S.minasa	Tello	Tallo Lama	Pngkp
0,1280	0,1349	0,1432	0,1124	0,0808

Berdasarkan Tabel 4 diatas , nilai NSDD (kandungan polutan tak larut) Gardu Induk pada tiap kawasan dikategorikan sebagai tingkat polutan tak larut rendah rendah.

D. Analisis Konduktivitas Permukaan Isolator

Hasil Pengujian konduktivitas permukaan isolator untuk keempat kondisi pengujian, diperoleh perbandingan nilai rata-rata arus bocor seperti pada Tabel 5.

Data pada Tabel 5, menunjukkan bahwa polutan gardu induk tiap kawasan memberikan pengaruh negatif yang cukup besar terhadap kinerja isolator terpasang pada Gardu Induk tersebut.

Tabel 5. Perbandingan nilai arus bocor rata-rata isolator uji pada berbagai kondisi pengujian

No	Jenis Pengujian	Arus Bocor (mA)	
		40 kV	70 kV
1	Bersih kering	4,27	4,33
2	Bersih basah	4,40	4,47
3	Terpolusi kering :		
	A. GI. Makale	4,53	4,67
	B. GI. S.minasa	4,33	4,07
	C. GI. Tello	4,40	4,40
	D. GI. Tallo Lama	4,40	4,47
	E. GI. Pangkep	4,47	4,40

4	Terpolusi Basah :		
	A. GI. Makale	4,73	4,73
	B. GI. S.minasa	4,47	4,40
	C. GI. Tello	4,47	4,60
	D. GI. Tallo Lama	4,67	4,67
	E. GI. Pangkep	4,60	4,87

E. Evaluasi Isolator Terpasang

Isolator yang terpasang pada gardu Induk semua kawasan didaerah kerja PLN Sulselrabar mempunyai profil sama yakni profil ‘‘Terbuka‘‘. Sampel isolator berjumlah 5 buah terdiri atas 2 tipe isolator 70 kV dan 3 tipe isolator 150 kV.

Berdasarkan hasil kajian , Penekanan nilai parameter C dan s/p terdapat isolator yang tidakj memenuhi standar IEC dan SPLN 10-3B yakni : isolator GI. Tello, GI. Makale, GI. Pangkep dan untuk nilai s/p yang tidak memenuhi standar hanya ditemukan pada GI. Tello.

F. Penentuan Profil Isolator

Berdasarkan hasil kajian di atas, maka ke lima kawasan gardu Induk tersebut mempunyai tingkat intensitas polusi lingkungan tinggi dan ini akan menyebabkan menurunnya kinerja isolator-isolator tersebut, untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan 2 cara :

1. Melakukan penjadwalan *maintenance* isolator yang lebih intensif (d disesuaikan dengan pengalaman dilapangan) hal ini perlu dilakukan secara berkala agar pelepasan-pelepasan muatan yang sering terjadi pada isolator tidak berlanjut pada terjadinya *flashover* yang dapat mengakibatkan terganggunya system
2. Melakukan penggantian isolator yang lama dengan isolator yang baru. Penggantian ini dapat dilakukan dengan 2 alternatif isolator baru, yakni:
 - a. Isolator baru dengan jarak minimum antar sirip (C) serta rasio antar spasi dan rentangan sirip (s/p) yang lebih besar.
 - b. Pemasangan isolator baru yang didesain khusus untuk kawasan yang laju endapan polusinya tinggi atau isolator baru yang memiliki bahan isolasi yang lebih baik dan terbukti memiliki kinerja yang lebih baik jika diterapkan pada gardu induk

dengan tingkat polusi lingkungan yang tinggi. Pemasangan profil terbuka dengan posisi vertical perlu diubah sesuai tingkat intensitas polusi.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Polutan GI. Makale, GI. Sungguminasa, GI. Tello, GI. Tallo Lama mengandung beberapa unsur yang bersifat konduktif, yakni Na, Cl, Mg, S, Ca, P dengan komposisi unsur pada larutan uji pada umumnya sangat besar.
2. Polutan pada GI. Makale selain mengandung unsur Na, Cl, juga mengandung unsur Fe yang rata-ratanya sebesar 0,265%, sedangkan GI. Pangkep tidak mengandung unsur Na dan Cl, akan tetapi mengandung unsur Fe yang rata-ratanya besar yaitu 2,97 %.
3. Intensitas polusi untuk setiap kawasan Gardu Induk pada konsentrasi 0,50 g/l memiliki nilai ESDD sebagai berikut GI. Makale sebesar 2,1819 mg/cm² , GI. Sungguminasa sebesar 3,3536 mg/cm² , GI. Tello sebesar 3,2224 mg/cm² , GI. Tallo lama sebesar 3,8909 mg/cm² , GI. Pangkep sebesar 3,2043 mg/cm² dan dikategorikan sebagai tingkat polutan terlarut berat (> 0,1 mg/cm²).
4. Intensitas polusi untuk setiap kawasan Gardu Induk memiliki nilai NSDD sebagai berikut GI. Makale sebesar 0,1280 mg/cm² , GI. Sungguminasa sebesar 0,1349 mg/cm² , GI. Tello sebesar 0,1432 mg/cm² , GI. Tallo lama sebesar 0,1124 mg/cm² , GI. Pangkep sebesar 0,0808 mg/cm² dan dikategorikan sebagai tingkat polutan tak larut rendah.
5. Nilai arus bocor maksimum diperoleh pada kondisi pengujian terpolusi basah dengan penyemprotan polutan Gardu Induk tiap kawasan sebagai berikut GI. Makale sebesar 4,73 mA, GI. Sungguminasa sebesar 4,47 mA, GI. Tello sebesar 4,60 mA, GI. Tallo lama sebesar 4,67 mA dan GI. Pangkep sebesar 4,87 mA.
6. Pada umumnya profil isolator yang digunakan di setiap kawasan gardu Induk

adalah sama, yaitu profil terbuka. Berdasarkan 4 parameter yang mencirikan profil suatu isolator yang dipasang, terdapat 2 parameter yang tidak memenuhi standar, yaitu pada parameter jarak minimum antar sirip untuk GI. Makale, GI. Pangkep dan GI. Tello serta rasio antar spasi dan rentangan sirip pada GI. Tello.

7. Tingginya tingkat polutan pada setiap kawasan Gardu Induk disebabkan oleh penggunaan profil isolator terbuka, sedangkan seluruh Gardu Induk terletak pada kawasan yang terbuka, sehingga isolator yang sesuai untuk digunakan adalah profil isolator terlindung atau jenis isolator berbahan polimer.

DAFTAR PUSTAKA

- Manjang, S;, Herman, 2007, *Kajian Kinerja Isolator 20 kV di Bawah Intensitas Polusi Tinggi pada Gardu Distribusi PT. Semen Tonasa*, Proseedings SNTK, Makassar, Hal 54-67
- Patras,L.S;Pakpahan M.P; Suwarno, 2007. *Mapping of Pollution Based on ESDD and NSDD Value at The Minahasa Electric Distribution System*, International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ITB, Bandung, Hal 790-793
- SPLN 10-3B, 1993. *Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan dengan Pedoman Pemilihan Isolator*, Deptamben PLN,Jakarta, Hal 3-10.
- Taufik, A, 2008, *Kajian Intensitas Polusi dan Hubungannya Terhadap Profil Isolator keramik Pasangan Luar (Studi kasus GI Jeneponto 150 kV)*, Thesis Pascasarjana Elektro UNHAS, Makassar, Hal. 30-40.
- Tobing,L.B; Lubis, M., 2007, *Hubungan Intensitas Polusi Isolator jaringan Distribusi Sumatera Utara dengan Jarak Lokasi Isolator dari Pantai*, Jurnal Teknik Elektro Vol 7 no.2,Medan, Hal. 63-67.