

EVALUASI METODE PENGUKURAN KONDISI ISOLATOR DALAM KEADAAN BERTEGANGAN JARINGAN 500 KV PENGHANTAR UNGARAN – MANDIRANCAN II TOWER 470

M.Toni Prasetyo¹⁾ dan Novan Nur Hidayah²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Elektro FT Universitas Muhammadiyah Semarang
Jl. Kasipah No.12 Semarang INDONESIA

Email : toniprast@gmail.com

ABSTRAK

Sistem transmisi menghantarkan energi listrik dalam tegangan yang sangat tinggi untuk jarak yang sangat jauh. Tegangan yang sangat tinggi dengan arus beban yang besar pula, menyebabkan semakin besar kemungkinan isolator yang menahan besarnya beban mekanis dan pejanan listrik terus menerus untuk mengalami kerusakan. Hal ini ditambah lagi dengan pengaruh alam dan lingkungan disekitarnya.

Saat ini, pemeliharaan dan penggantian isolator dapat dilakukan dalam jaringan tanpa padam, tetapi sebelum memulai pelaksanaannya, integritas mekanis dan listrik dari isolator perlu dikonfirmasi terlebih dahulu. Melalui inspeksi secara visual dapat diketahui kerusakan fisik dari isolator tetapi tidak dengan integritasnya secara listrik. Untuk keperluan ini, telah banyak dikembangkan berbagai perangkat pengukuran yang mampu mengukur kondisi isolator dalam kondisi jaringan tanpa padam (*energize*). Beberapa diantaranya dapat digunakan hingga tegangan 765 kV.

Ada dua macam perangkat pengukuran yang secara umum telah digunakan di Indonesia dengan dua macam metode kerja yang berbeda, antara lain Isolometer dan *Positron Insulator Tester*. Isolometer bekerja berdasarkan metode pengukuran beda potensial yang melintasi sebuah isolator, sedangkan *Positron Insulator Tester* bekerja berdasarkan pengukuran medan listrik pada sebuah isolator. Evaluasi disini untuk mengetahui perangkat pengukuran dan metode yang paling tepat dan paling efektif untuk digunakan di lapangan, terutama pada jaringan Transmisi Tegangan Tinggi 500 kV.

Kata kunci : Evaluasi, isolator tegangan ekstra tinggi, transmisi 500 kV, sistem tenaga listrik, pengukuran, kondisi isolator

1. PENDAHULUAN

Dalam jaringan transmisi *overhead*, isolator merupakan salah satu bagian penting yang terpapar langsung dengan

pengaruh alam dan kondisi lingkungan disekitarnya. Oleh karena itu, pemeriksaan isolator di jalur transmisi listrik sangat penting untuk menjaga keandalan fungsinya,

karena kegagalan isolator juga telah dikenal sebagai penyebab utama kegagalan listrik.

Pemeriksaan visual telah sering dilakukan untuk memantau kondisi isolator dari keadaan fisiknya. Namun, pemeriksaan visual tidak dapat mengetahui dan memantau kekuatan isolasi yang tersisa dari isolator terpasang selama dalam masa pemakaiannya terhadap pejanan tekanan energi listrik yang ada. Secara umum pemeliharaan isolator pada jaringan transmisi tegangan ekstra tinggi dilakukan dalam keadaan padam (*offline*) sehingga hal ini sedikit banyak berpengaruh terhadap kontinuitas penyaluran tenaga listrik.

Saat ini telah dikembangkan berbagai macam cara agar pekerjaan pemeliharaan isolator dapat dikerjakan dalam keadaan tanpa padam (*live line*). Akan tetapi sebelum pelaksanaannya, integritas kemampuan isolator terhadap tekanan listrik dan kemampuan mekaniknya perlu dikonfirmasi terlebih dahulu sebagai prosedur standar yang harus dilakukan untuk faktor keselamatan pelaksanaan pekerjaan. Untuk kemampuan mekanik dapat diketahui melalui pengamatan, sedangkan untuk mengetahui kemampuan isolator terpasang terhadap tekanan pejanan listrik memerlukan suatu jenis peralatan *tester* khusus.

Peralatan *tester* yang sudah digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan bertegangan di Indonesia ada 2 macam dengan prinsip cara kerja yang berbeda satu sama lain. Peralatan pertama adalah *Isolometer* dan yang kedua adalah *Positron Insulator Tester*. Dalam perkembangannya kedua peralatan tes tersebut telah banyak digunakan terlebih oleh banyak negara selain Indonesia. Oleh karena kedua peralatan tersebut memberikan bentuk hasil keluaran yang berbeda, maka diperlu kajian terhadap ketepatan, ketelitian dan keefisienan peralatan yang paling tepat digunakan.

2. TINJUAN PUSTAKA

Metode Pengukuran Isolator

Pada jaringan transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi, isolator yang paling tepat untuk operasinya dibentuk dari material dielektrik seperti porselen dan gelas. Bagian-bagiannya disusun menggunakan *fitting* logam. Dalam kondisi operasi, perbedaan koefisien linier pemuaian *fitting* logam dengan dielektriknya memungkinkan menyebabkan rusaknya dielektrik yaitu retak setelah beberapa periode waktu. Dalam beberapa kasus, dielektrik mungkin telah memiliki kerusakan internal yang akan yang akan mulai nampak dengan berjalannya waktu apabila struktur isolator tidak cukup tebal.

Penyerapan akan air dan material yang bersifat konduktif dapat juga mengurangi atau bahkan menghilangkan fungsi dari bagian dielektrik. Oleh sebab itu, akan menjadi hal yang sangat dibutuhkan bagi suatu jaringan tegangan tinggi ataupun tegangan ekstra tinggi yang telah beroperasi untuk beberapa periode waktu untuk mengganti isolator yang rusak ataupun bagian-bagiannya. Penggantian material yang cacat sangat berpengaruh besar pada peningkatan keandalan dari isolator tersebut dan mencegah dari kegagalan total oleh kebocoran atau lewat denyar (*flashover*) dari konduktor ke *ground*. [1]

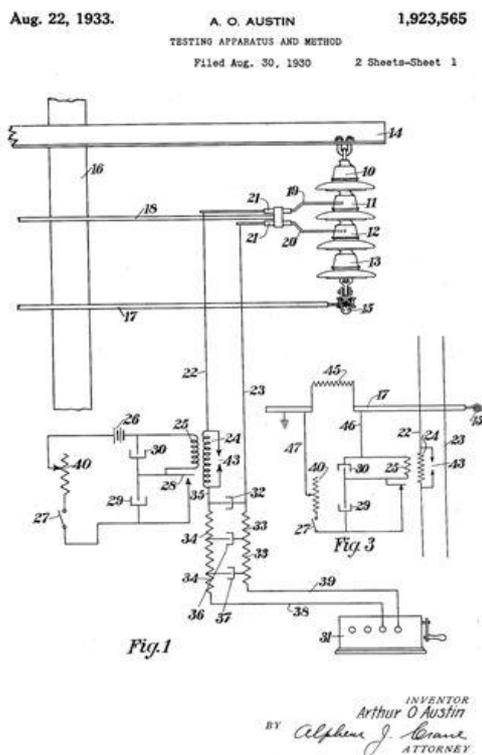
Selama beberapa dekade, berbagai macam metode untuk mendeteksi kerusakan dan kegagalan isolator dalam jaringan dalam kondisi jaringan tanpa padam telah banyak ditemukan dan digunakan. Hal ini memberikan keuntungan yaitu pelaksanaan pengawasan dan pengecekan dapat dilakukan tanpa mengorbankan kualitas penyaluran tenaga listrik. Metode yang digunakan dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu metode aktif dan metode pasif. Sebuah metode dinyatakan sebagai metode aktif ketika beberapa atau sebuah sumber eksternal tegangan tinggi diterapkan diseluruh keping isolator untuk benar-benar menguji isolator hingga ke batas maksimalnya. Sampai sekarang,

metode uji aktif lebih banyak hanya digunakan di laboratorium atau toko penjualan isolator tersebut. Sedangkan metode pasif dapat dianggap sebagai suatu cara pengujian atau pengukuran isolator tanpa membutuhkan sumber energi eksternal lagi tetapi mengukur berdasarkan suatu besaran suatu satuan yang ada pada isolator seperti besar beda potensial, tahanan, atau medan listrik yang melingkupi isolator tersebut. [2]

2.1. Pengukuran Isolator dengan Metode Aktif

Salah satu contoh perangkat ukur yang menggunakan metode aktif adalah perangkat *tester* pengukur kondisi isolator tegangan tinggi yang dibuat oleh Arthur O. Austin pada tahun 1930 dan telah dipatenkan pada tahun 1933 (U.S. Pat. No.1,923,565). Berdasarkan paten ini, sebuah *probe* berbentuk garpucabang diletakkan melintang pada isolator. Tegangan DC dibangkitkan oleh sebuah generator DC (*megger*) diberikan pada isolator dan aliran arus yang melalui isolator yang rusak dideteksi dan ditampilkan pada sebuah indikator arus. Metode ini digolongkan dalam metode aktif karena menggunakan generator DC (*megger*) sebagai sumber tegangan tinggi eksternal. Metode dan peralatan berdasarkan paten ini memiliki beberapa

kelemahan. Jaringan yang akan diukur isolatornya harus dipadamkan selama pengetesan untuk menghindari melompatnya listrik ke perangkatur dan juga untuk meyakinkan keselamatan bagi personil yang melaksanakan pengetesan. Sebuah sumber energi terpisah (seperti sebagai contoh, sebuah baterai) harus digunakan, sebagai tambahan dalam penggunaan *megger*, untuk membangkitkan energi listrik belitan induksi primer dari transformator yang juga merupakan bagian dari perangkat tes ini.[1]



Gambar 1. Sebuah gambar perwujudan desain perangkat ukur isolator yang dibuat

oleh Arthur O. Austin secara keseluruhan (*fig 1*)

Pada prinsipnya, sebuah tegangan rendah arus searah digunakan, hambatan kecil antara konduktor₍₁₅₎ dan ground akan cenderung menghindari tegangan apapun yang berlebihan atau berbahaya, khususnya dimana celah pembatas yang sangat kecil ditempatkan melintasi hambatan pada kabel ground₍₁₇₎. [1]

Tetapi, dalam penelitian ini melakukan penelitian dengan perangkat ukur yang bekerja mengukur isolator dalam keadaan jaringan bertegangan (*energize*), maka tidak akan dilakukan pengetesan menggunakan metode ini.

2.2. Pengukuran Isolator Dengan Metode Pasif

Telah banyak varian yang telah dibuat dan dikembangkan untuk metode uji pasif. Metode jenis ini telah banyak digunakan secara luas dan merupakan metode uji yang paling tepat digunakan dalam praktek langsung di lapangan dengan efektif karena berbagai macam kemudahan dan konstruksi fisik perangkat yang lebih ringkas, ringan dan mudah dalam pengangkutannya. Metode Uji pasif dapat dibagi ke dalam tiga kategori berdasarkan prinsip dasar instrumen pengukuran bekerja terhadap besaran satuan yang berpengaruh yang digunakan, antara lain:

- a. Deteksi atau pengukuran Perbedaan potensial
- b. Pengukuran Resistansi
- c. Pengukuran Medan Listrik

Bennet menjelaskan beberapa hal yang menjadi kelebihan instrumen dan metode pengukuran kondisi isolator temuannya ini dibandingkan peralatan pengukuran elektrostatik yang telah ditemukan sebelumnya adalah alat ini telah dapat digunakan untuk melakukan pengukuran kondisi isolator pada setiap tegangan pada jaringan transmisi.[3]

Pada penelitian ini juga menggunakan salah satu perangkat ukur yang menggunakan metode ini yaitu *Isolometer*.

Isolometer mendeteksi kerusakan dari sebuah renceng isolator pada sistem jaringan distribusi dan transmisi yang masih bertegangan (*energize*). Prinsip kerjanya berdasarkan pengukuran beda potensial yang melalui piringan isolator yang diukur. Sebuah galvanometer berimpedansi tinggi mengindikasikan beda potensial tersebut, memungkinkan perbandingan dengan piringan isolator lain dalam sistem yang sama. *Probe* bekerja setelah ujung kontak logamnya yang berbentuk garpu dikontakkan langsung dengan cara disentuh/ditempelkan secara langsung pada masing-masing sisi bagian logam yang

berlawanan dari piringan isolator untuk membangun kontak dengan probe pengukur. Nilai yang terukur ditunjukkan langsung melalui sistem analog, jarum menunjukkan angka skala dalam satuan keluaran *kV*. Penghitungan jumlah isolator yang telah diukur, pembacaan nilai pengukuran yang ditunjuk oleh indikator skala dan pembuatan kurva hasil pengukuran untuk pengidentifikasian isolator yang rusak dilakukan manual oleh operator.

2.3. Karakteristik Isolator

Dijelaskan secara umum karakteristik isolator yang terdiri dari karakteristik mekanis dan elektrik yang keduanya merupakan bagian penting dari spesifikasi isolator untuk dapat tepat digunakan pada jaringan listrik tegangan menengah, tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi [11]

Karakteristik Mekanis Isolator

Karakteristik mekanis isolator ditandai dengan kekuatan mekanisnya, yaitu beban mekanis terendah yang mengakibatkan isolator tersebut rusak. Kekuatan mekanis ini ditentukan dengan membebani isolator dengan beban yang bertambah secara bertahap hingga isolator terlihat rusak. Kekuatan mekanis isolator dinyatakan dalam tiga keadaan beban, yaitu

kekuatan mekanis tarik, kekuatan mekanis tekan dan kekuatan mekanis tekuk

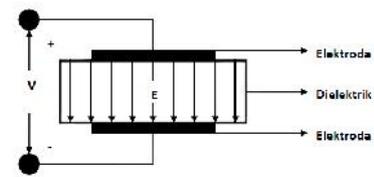
Karakteristik Elektris Isolator

Ditinjau dari segi kelistrikan, isolator dan udara membentuk suatu sistem isolasi yang berfungsi untuk mengisolir suatu konduktor bertegangan dengan kerangka penyangga yang dibumikan sehingga tidak ada arus yang mengalir dari konduktor tersebut ke tanah.

Ada dua kejadian yang menyebabkan sistem isolasi ini gagal menjalankan fungsinya, yaitu terjadi tegangan tembus listrik pada udara disekitar permukaan isolator yang disebut peristiwa lewat-denyar (*flashover*) dan tembus listrik pada isolator yang menyebabkan isolator pecah. Kegagalan suatu isolator dapat terjadi karena bahan dielektrik isolator tembus listrik (*breakdown*) atau karena terjadinya lewat-denyar (*flashover*) udara yang terjadi di sepanjang permukaan isolator

Mekanisme Terjadinya Tegangan Tembus Listrik

Tegangan yang menyebabkan dielektrik tersebut tembus listrik disebut tegangan tembus atau *breakdown voltage*. Tegangan tembus adalah besar tegangan yang menimbulkan terpaan elektrik pada dielektrik sama dengan atau lebih besar daripada kekuatan dielektriknya. [11]



Gambar 2. Medan elektrik dalam dielektrik

3. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi pada T.470 Penghantar SUTET 500 kV Ungaran – mandirancan II yang menghubungkan interkoneksi jaringan antara transmisi tegangan ekstra tinggi wilayah Jawa Tengah dengan transmisi tegangan ekstra tinggi wilayah Jawa Barat melalui jalur selatan



Gambar 3. Gambar pencitraan satelit posisi pelaksanaan uji coba

1. 3.2. Alat Penelitian

2. 3.2.1 Pengukuran menggunakan Isolometer

Pengukuran ini menggunakan beberapa alat, antara lain:

3. A. Isolometer

Sebuah perangkat *portable* pengukuran kondisi renceng isolator yang dapat digunakan pada sistem jaringan distribusi dan transmisi dalam keadaan jaringan masih bertegangan (*energize*).

Perangkat ini adalah perangkat pertama yang akan digunakan dalam praktek langsung penelitian ini di lapangan. Berbentuk garpu dengan dua elektrode, bekerja berdasarkan pengukuran dari beda potensial per keping isolator. Untuk bekerja, perangkat ini memerlukan kontak langsung dengan isolator, dengan cara menyentuh/menempelkan kedua elektroda dengan dua sisi bagian metal yang berseberangan pada piringan isolator.



Gambar 4. Penggunaan Isolometer pada jaringan tegangan menengah

B. *Insulating Stick*

Tongkat berisolasi yang ujungnya merupakan sarana tempat perangkat-perangkat ukur dipasang. Digunakan untuk menjangkaukan perangkat ukur ke renceng isolator. Panjangnya *insulating stick*

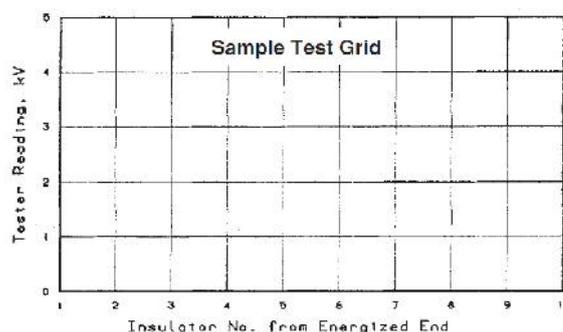
tergantung dari standar jarak aman operator berdasarkan rating tegangan jaringan yang disangga oleh isolator. Semakin besar rating tegangan jaringan, semakin panjang *insulating stick* yang digunakan.



Gambar 5. Tongkat berisolasi (*Insulating Stick*)

C. Lembar Grafik

Lembaran kertas yang telah bergaris-garis. Digunakan untuk membuat kurva hasil pengukuran dengan Isolometer.



Gambar 6. Gambar kertas pembuatan grafik pengukuran

3.2.2. Pengukuran dengan menggunakan *Positron Insulator tester*

A. *Positron Insulator Tester*

Perangkat ini bekerja dengan prinsip kerja mengukur medan listrik yang terdistribusi pada satu renceng isolator. Tidak memiliki elektrode dan tidak memerlukan kontak langsung dengan isolator seperti halnya Isolometer, tetapi

menggunakan sebuah *probe* yang terpasang pada sejenis luncuran yang memudahkan untuk menggeser *probe* ke seluruh piringan isolator dalam satu renceng. Penghitungan jumlah isolator yang telah terukur oleh alat ini, pembacaan nilai pengukuran yang diperoleh dari masing-masing isolator dan pembuatan kurva hasil pengukurannya dilakukan secara otomatis. Semua data tersebut akan tersimpan secara otomatis di dalam *probe* dan baru akan dapat dilihat setelah ditransfer ke PDA *Phone*.



Gambar 7 *Positron Insulator Tester*
(*Probe* dan *sled* peluncurnya)

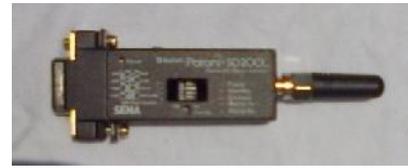
B. *Insulating Stick*

Tongkat berisolasi yang ujungnya merupakan sarana tempat perangkat-perangkat ukur dipasang. Digunakan untuk menjangkau perangkat ukur ke renceng isolator.

C. *Bluetooth*

Digunakan sebagai bagian perangkat *Positron Insulator Tester* yang digunakan untuk mentransfer data hasil pengukuran isolator yang tersimpan di dalam *probe* ke

PDA *phone*, untuk kemudian ditampilkan grafik hasil pengukurannya



Gambar 8 Perangkat *Bluetooth*

D. PDA *Phone*

Merupakan bagian perangkat ukur *Positron*. Digunakan untuk mengunduh data yang tersimpan di dalam *probe* *Positron Insulator Tester* yang telah diperoleh di lapangan secara langsung melalui perangkat *Bluetooth* sebelum penganalisisan data yang lebih lanjut pada computer. Berfungsi juga untuk meyakinkan tidak ada isolator yang terlewat pada pengukuran oleh *Positron Insulator Tester*



Gambar 9. PDA *Phone*

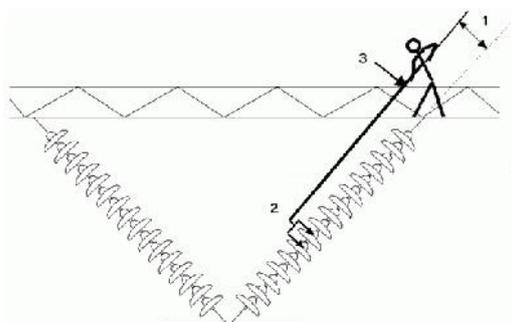
E. Laptop

Perangkat yang digunakan untuk menampilkan grafik hasil pengukuran string isolator yang telah diukur menggunakan *Positron Insulator Tester* yang telah tersimpan didalam PDA *phone* yang berasal dari pengtransferan data

melalui Bluetooth yang sebelumnya telah dilakukan langsung di lapangan. Grafik keluaran dihasilkan melalui program bawaan yang disertakan dalam paket Positron. Grafik keluaran yang dihasilkan kemudian dapat dicetak untuk kemudian dianalisis lebih lanjut hasilnya.

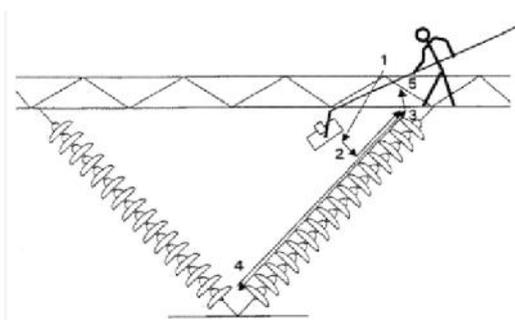
3.3. Skema Percobaan

3.3.1 Skema percobaan pengukuran isolator menggunakan *Isolometer*



Gambar 10. Skema percobaan pengukuran isolator dengan menggunakan *probe* pengukur beda potensial pada susunan isolator *V-string* jaringan tegangan ekstra tinggi 500 kV

3.3.2. Skema percobaan pengukuran menggunakan *Positron Insulator Tester*



Gambar 11. Skema percobaan pengukuran isolator dengan menggunakan *probe*

pengukur medan listrik pada susunan isolator *V-string* jaringan tegangan ekstra tinggi 500 kV

4. Alur Penelitian



Gambar 12. Skema alur penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Pengukuran

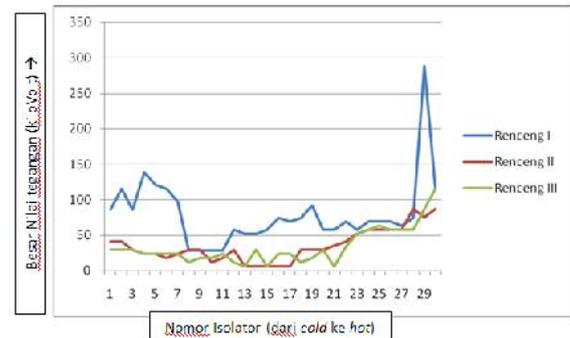
4.1.1. Analisis Hasil Pengukuran Menggunakan *Isolometer*

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan *Isolometer*, diperoleh hasil yang ditampilkan pada indikator skalanya seperti tabel berikut.

Tabel 1. Tabel nilai penunjukan skala indikator pengukuran Isolometer

No. Isolator ke- (Dari sisi Cold)	Hasil Penunjukan Renceng I	Hasil Penunjukan Renceng II	Hasil Penunjukan Renceng III
1	1.0	0.7	0.5
2	2	0.7	0.5
3	1.5	0.5	0.5
4	2.4	0.4	0.4
5	2.1	0.4	0.4
6	2	0.3	0.4
7	1.7	0.4	0.4
8	0.5	0.5	0.2
9	0.5	0.5	0.3
10	0.5	0.2	0.3
11	0.5	0.3	0.4
12	1	0.5	0.2
13	0.9	0.1	0.1
14	0.9	0.1	0.5
15	1	0.1	0.1
16	1.3	0.1	0.4
17	1.2	0.1	0.4
18	1.5	0.2	0.2
19	1.6	0.5	0.3
20	1	0.5	0.5
21	1	0.6	0.1
22	1.2	0.7	0.6
23	1	0.9	0.6
24	1.2	1	1
25	1.2	1	1.1
26	1.2	1	1
27	1.1	1	1
28	1.3	1.5	1
29	5	1.3	1.5
30	2	1.5	2

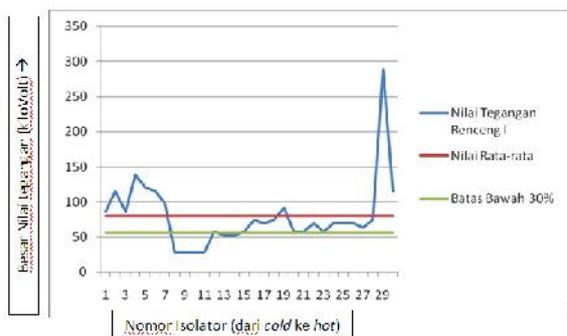
Perangkat inti dari Isolometer adalah sebuah galvanometer berimpedansi tinggi. *Range* pengukurannya maksimalnya adalah $200\mu A$. Nilai hasil pengukuran diatas merupakan nilai skala yang ditampilkan pada indikator Isolometer. Skala indikator pada Isolometer terdiri dari 5 skala. Jadi, masing-masing jarak antar skala menunjukkan selisih nilai sebesar $40\mu A$. Jadi, skala pada tabel 4.1 diatas dikalikan dengan $40\mu A$, hasil akhir dapat dibuat grafik berikut:



Grafik 1. Grafik perbandingan nilai hasil ukur 3 buah renceng isolator dengan Isolometer.

Dari hasil pengukuran 3 renceng isolator tersebut menunjukkan nilai yang dihasilkan dari masing-masing pengukuran membentuk kurva yang sama sekali berbeda satu sama lain. Isolator yang dianggap rusak adalah yang nilai hasil ukurnya berada di bawah 30% rata-rata nilai pengukuran seluruh piringan isolator dalam satu rencengnya. Untuk memudahkan proses penganalisisan dan pendeteksian isolator yang rusak dari masing-masing renceng, maka digambarkan grafik kurva untuk masing-masing rencengnya sebagai berikut,

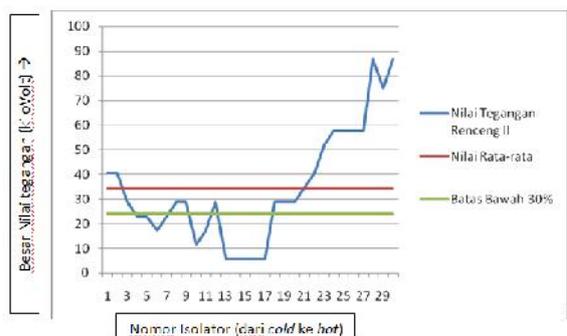
a) Renceng I



Grafik 2. Grafik kurva pengukuran isolator renceng I menggunakan Isolometer

Rata-rata nilai tegangan hasil pengukuran renceng I adalah 80 kV, dan batasan 30% nilai pengukuran terbawah adalah 56 kV. Semua nilai hasil pengukuran dibawah batasan 30% ini dianggap isolator yang rusak. Sehingga dapat diketahui dari kurva ini bahwa isolator ke-8, 9, 10, 11, 13, dan 14 nilainya dibawah batasan 30% nilai pengukuran terbawah, sehingga isolator-isolator ini dianggap rusak dan perlu diganti.

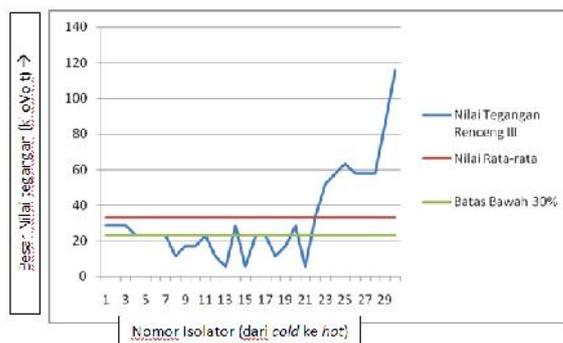
b) Renceng II



Grafik 3. Grafik kurva pengukuran isolator renceng II menggunakan Isolometer

Rata-rata nilai tegangan hasil pengukuran renceng II adalah 34,4 kV, dan batasan 30% nilai pengukuran terbawah adalah 24,1 kV. Semua nilai hasil pengukuran dibawah batasan 30% ini dianggap isolator yang rusak. Sehingga dapat diketahui dari kurva ini bahwa isolator ke-6, 10, 13, 14, 15, 16 dan 17 nilainya dibawah batasan 30% nilai pengukuran terbawah, sehingga isolator-isolator ini dianggap rusak dan perlu diganti.

c) Renceng III



Grafik 4. Grafik kurva pengukuran isolator renceng III menggunakan Isolometer

Pada kurva pengukuran renceng III, rata-rata nilai tegangan hasil pengukurannya adalah 33,1 kV, dan batasan 30% nilai pengukuran terbawah adalah 23,2 kV. Semua nilai hasil pengukuran dibawah batasan 30% ini dianggap isolator yang rusak. Sehingga dapat diketahui dari kurva ini bahwa isolator ke-8, 9, 10, 12, 13, 15, 18, 19 dan 21 nilainya dibawah batasan

30% nilai pengukuran terbawah, sehingga isolator-isolator ini dianggap rusak dan perlu diganti.

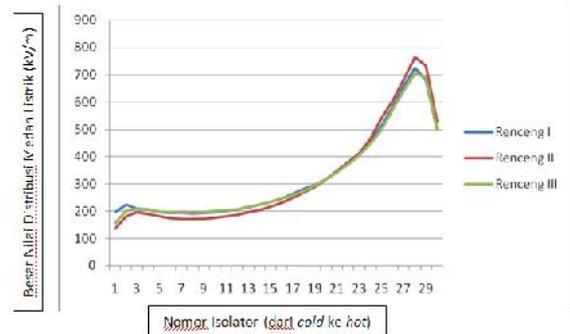
4.1.1. Analisis Hasil Pengukuran Menggunakan Positron Insulator Tester

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan menggunakan *Positron Insulator Tester*, maka diperoleh tabel hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel 4.4. Tabel nilai hasil pengukuran dengan *Positron Insulator Tester*

No. Isolator ke- (Dari sisi Cold)	Hasil Ukur Renceng I (kV/m)	Hasil Ukur Renceng II (kV/m)	Hasil Ukur Renceng III (kV/m)
1	198	136	157
2	225	181	201
3	209	196	210
4	206	188	204
5	198	180	200
6	195	174	197
7	194	172	194
8	192	171	194
9	195	172	196
10	198	175	201
11	203	180	204
12	208	187	208
13	214	196	216
14	224	205	225
15	234	217	234
16	247	231	247
17	264	249	260
18	282	269	275
19	297	289	294
20	318	316	318
21	348	344	343
22	380	379	371
23	412	413	405
24	456	466	448
25	512	541	498
26	579	602	571
27	658	680	641
28	725	766	705
29	679	733	689
30	503	529	500

Dari tabel hasil pengukuran tiga renceng isolator tersebut dengan menggunakan *Positron Insulator Tester*, maka akan diperoleh grafik sebagai berikut:



Grafik 5. Grafik perbandingan nilai hasil ukur 3 buah renceng isolator dengan *Positron Insulator Tester*

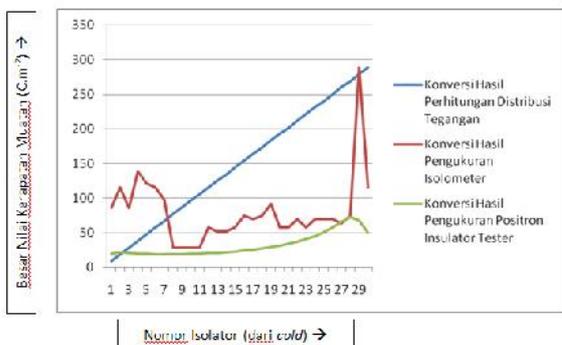
Dapat dilihat bahwa dari kurva grafik tersebut diketahui distribusi penyebaran medan listrik tiap keping piringan isolator pada masing-masing renceng hampir sama besarnya. Grafik yang melengkung semakin ke atas menunjukkan besarnya medan listrik yang melingkupi renceng isolator tersebut semakin besar ke arah piringan isolator yang paling dekat dengan konduktor bertegangan. Isolator No. 30 menunjukkan grafik yang menurun, tetapi hal ini adalah hal yang biasa pada semua pengukuran yang telah dilakukan dengan perangkat ini. Hal ini terjadi dimungkinkan disebabkan pengaruh medan listrik dari penghantar lain disebelahnya.

4.2 Pembahasan Perbandingan Hasil Perhitungan dan Pengukuran

Renceng I

Dari kesemua tabel hasil pengkonversian di atas. Berikut ini adalah tabel hasil perbandingan antara nilai

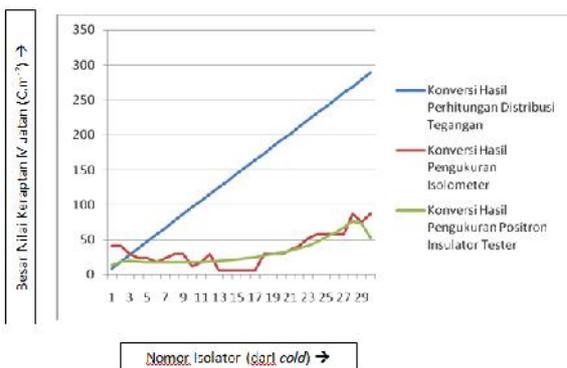
pengkonversian ke besaran kerapatan muatan dari nilai perhitungan, nilai pengukuran dengan isolometer dan nilai pengukuran dengan Positron Insulator Tester untuk Renceng I.



Grafik 6. Grafik kurva perhitungan dan pengukuran renceng I

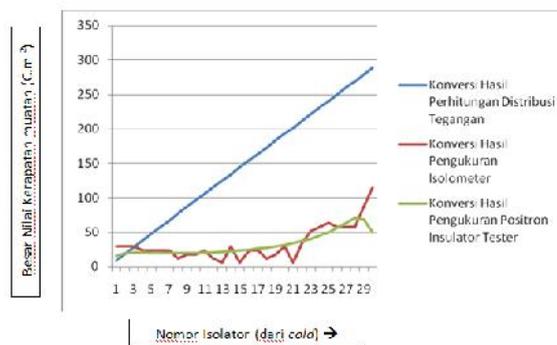
Renceng II

Berikut ini adalah hasil perbandingan antara nilai pengkonversian ke besaran kerapatan muatan dari nilai perhitungan, nilai pengukuran dengan isolometer dan nilai pengukuran dengan Positron Insulator Tester untuk Renceng II.



Grafik 4.7. Grafik kurva perhitungan dan pengukuran renceng II

Renceng III



Grafik 4.8. Grafik kurva perhitungan dan pengukuran renceng III

4.3 Analisis Hasil Perbandingan

Dilihat dari kurva grafik perbandingan yang ditunjukkan oleh masing-masing renceng menunjukkan bahwa perhitungan besar distribusi tegangan pada isolator menghasilkan sebuah grafik kurva yang ideal melandai ke atas, sedangkan secara umum nilai-nilai hasil ukur oleh perangkat-perangkat ukur menghasilkan kurva-kurva yang berada dibawah kurva perhitungan distribusi tegangan. Ketiga grafik tersebut dibuat setelah semua hasil pengukuran dan perhitungan telah dikonversikan menjadi satu satuan yaitu satuan kerapatan muatan ($C.m^{-2}$).

Dari ketiga grafik tersebut, hanya pada kurva grafik perbandingan pertama sajalah hasil pengukuran Isolometer dapat memotong kurva distribusi tegangan di beberapa titik. Kurva hasil ukur dari kedua perangkat yang digunakan memberikan

bentuk kurva yang tidak berbeda terlalu jauh satu sama lain, kecuali kurva pada pengukuran renceng I. Masing-masing kurva hasil pengukuran dengan Isolometer memberi bentuk yang berbeda-beda untuk setiap rencengnya, sedangkan kurva hasil pengukuran dengan Positron Insulator Tester memberi bentuk kurva yang konsisten untuk setiap rencengnya.

Beberapa hal yang menyebabkan hasil pengukuran dengan Positron Insulator Tester memberikan bentuk kurva yang lebih baik adalah karena penggunaan *probe* yang bekerja tanpa memerlukan kontak langsung yang dipasangkan pada jarak yang sudah ditentukan dengan isolator dan jarak tersebut tidak akan berubah-ubah, serta operator tidak perlu khawatir untuk salah membaca skala secara langsung seperti halnya Isolometer sehingga mengurangi ketidakakuratan pembacaan nilai yang ditunjuk karena pengukuran kondisi isolator dilakukan otomatis oleh *probenya*. Pada Isolometer, *probe* Isolometer memerlukan kontak langsung dengan bagian logam isolator, dimungkinkan bahwa ada sedikit banyak kesalahan dalam penggunaannya oleh operator seperti tidak tertempel secara sempurna garpu kontak *probenya* dan juga kekurangtelitiannya operator membaca besarnya nilai yang ditunjukkan yang akan semakin sukar untuk dilihat dengan

semakin jauhnya posisi *probe* Isolometer dari operator. Pengukuran oleh Isolometer menunjukkan beberapa buah isolator yang rusak, tetapi hal ini tidak terlihat dari kurva yang ditunjukkan oleh Positron Insulator Tester.

Penyimpulan yang meyakinkan untuk mengetahui apakah isolator yang ditemukan rusak sungguh betul-betul dalam kondisi yang benar-benar rusak akan sulit untuk dilakukan jika memperbandingkan kedua hasil pengukuran oleh kedua perangkat ini. Pada kurva Isolometer, ditunjukkan beberapa isolator yang rusak dalam setiap rencengnya. Tetapi tidak sama dengan Positron Insulator Tester, pada kurvanya tidak ditunjukkan adanya isolator yang rusak. Selama proses pengukuran dan hingga beberapa periode waktu setelah pengukuran dilakukan, belum pernah terjadi ditemukannya kelainan (seperti isolator *flash* atau pecah) ataupun anomali tegangan dan arus gangguan yang terjadi pada jaringan penghantar SUTET 500 kV Ungaran – Mandirancan II tersebut. Sehingga diambil kesimpulan bahwa renceng isolator yang telah dilakukan pengukuran masih dapat difungsikan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Dari seluruh proses yang telah dilaksanakan dan hasil yang diperoleh, maka secara umum Isolometer nilai hasil pengukurannya dapat segera diketahui dan kelemahannya adalah akurasi pembacaan hasil pengukurannya akan menjadi kurang efektif untuk renceng isolator yang panjang. Sedangkan Positron Insulator Tester, secara umum kelebihanannya adalah sangat mudah digunakan untuk renceng isolator yang panjang tetapi nilai hasil pengukurannya membutuhkan perangkat lain (PDA *Phone*) untuk melihat hasilnya.
2. Nilai hasil pengukuran isolator yang paling konsisten mendekati nilai hasil perhitungan ideal adalah Positron Insulator Tester.
3. Peralatan pengukuran isolator yang paling efektif penggunaan adalah Isolometer. Hal ini berdasarkan faktor kemudahannya untuk menemukan isolator yang rusak dalam satu renceng yang diukur.

Daftar Pustaka

- [1] Austin, A. O., "Testing Apparatus And Method",

United States Patent No. 1,923,565, Aug. 22, 1933.

- [2] Vaillancourt, G. H., J. P. Bellerive, M. St-Jean, and C. Jean, "New Live Line Tester for Porcelain Insulators on High-Voltage Power Line", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, January 1994, pp. 208-219.
- [3] Bennet, C. E., "Instrument for Locating and Observing Defective Insulator Units", United States Patent No. 1,542,815, June 23, 1925.
- [4] Giriantari, I.A.D., "Monitoring The Insulator Condition By On-Line Voltage Distribution Measurement", IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, April 2008, pp. 392-394.
- [5] Spangler, C. H., "Prong Type Holder For Safety Testing Devices", United States Patent No. 1,896,598, Feb. 7, 1933.
- [6] Forrest, J. S., "The Characteristics and Performance in Services of High-Voltage Porcelain Insulators", IEEE Journal, Vol.

- 89, Part II, No. 7, 1942, pp. 60-92.
- [7] Devine, C. W., "Method and Apparatus for Testing Insulators", United States Patent No. 4,266,184, May 5, 1981.
- [8] Vaillancourt, G. H., Rizk, F., "Apparatus for Detecting Defective Insulators in an Insulating Column Supporting an Electrical Conductor in a Power Circuit Line", United States Patent No. 4,760,343, Jul. 26, 1988.
- [9] Cheng, Yangchun., Chengrong Li, and Bin Liu, "The Sensitivity of Electric Field Method on Detecting Faulty Porcelain Insulators", IEEE International Conference on Properties and Applications of Dielectric Material, June 2006, pp. 615-618.
- [10] Rakosh Das Begamudre, Extra High Voltage AC Transmission Engineering, New Age International Publishers, New Delhi:2006
- [11] Bonggas L. Tobing, Peralatan Tegangan Tinggi, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta:2003
- [12] Bonggas L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Penerbit PT. Gramedia, Jakarta:2003
- [13] Frederick J. Bueche, Teori dan Soal-soal Fisika, Penerbit PT. Erlangga, Jakarta:1999
- [14] <http://www.cemag.com/archive/01/09/mrstatic.html>
- [15] Turan Gonen, Modern Power System Analysis, Jhon Wiley & Sons, Canada:1988
- [16] Kanginan, M., 1994, *Fisika 3A Untuk SMA Kelas XII, semester I*, Jakarta: Penerbit Erlangga