

Pengaruh tegangan kerja terhadap spektrum frekuensi gelombang arus bocor pada isolator keramik

Awan Setiawan¹, Imron Ridzki², Priya Surya³,

¹awansetiawan.sb@gmail.com, ²imronridzki2014@gmail.com, ³priyasuryapoweritb14@gmail.com

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 11 November 2020

Direvisi 25 Oktober 2020

Diterbitkan 30 Oktober 2020

Kata kunci:

Isolator
Flashover
Karet Silikon

Keywords:

Insulator
Flashover
Silicon Rubber

ABSTRAK

Penyaluran energi listrik pada jaringan PT PLN PERSERO khususnya pada jaringan distribusi sering mengalami kegagalan yang disebabkan arus bocor pada isolator keramik. Intensitas kerusakan disebabkan oleh polutan debu yang menempel pada permukaan isolator, ditambah pula dengan kelembaban udara yang ada di daerah tropis seperti Indonesia. Hal ini secara kumulatif, menyebabkan flashover pada permukaan isolator dan menyebabkan kegagalan penyaluran energi listrik pada jaringan. Pengaplikasian *Silicon Rubber* sebagai bahan pelapis isolator dapat mengurangi polutan debu yang menempel pada permukaan, hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter tegangan akan berpengaruh juga pada besarnya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator. Semakin tinggi tegangan kerja akan memperbesar nilai RMS arus bocor yang mengalir. Terukur pada level tegangan 20 kV arus bocor yang terukur memiliki RMS sebesar 0,0432 A dengan THD sebesar 15,76 % dengan beda fasa arus bocor terhadap tegangan sumber bersifat leading hampir mendekati $\alpha = 90^0$.

ABSTRACT

Distribution of electricity in PT PLN PERSERO network, especially in distribution networks often fails due to leakage current in ceramic insulation. The intensity of damage caused by dust pollutants that are attached to the insulation surface, coupled with the humidity of the air in tropical areas such as Indonesia. This cumulatively causes flashover on the insulation surface and causes failure of electricity distribution to the network. The use of Silicon Rubber as an insulating coating can reduce the amount of dust contaminated on the surface, the results show that the voltage parameter will also affect the amount of leakage current flowing to the insulation surface. Higher working voltage will increase the current RMS leakage value. Measured at a voltage level of 20 kV the current leakage was RMS 0.0432 A with THD of 15.76%, phase difference of leakage current to leading source voltage is almost close to $\alpha = 90^0$.

Penulis Korespondensi:

Priya Surya Harijanto
Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang,
Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.
Email: priyasuryapoweritb14@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Isolator merupakan bagian penting dari saluran udara tegangan menengah, tinggi dan ekstra tinggi. Beberapa jenis material isolator yang terpasang antara lain keramik, gelas dan polimer. Secara konstruksi mekanik maka terdapat isolator tension dan suspension. Isolator berfungsi untuk memisahkan bagian kawat fasa yang bertegangan terhadap ground serta menahan tegangan impuls baik impuls switching maupun petir.

Kegagalan isolator yang banyak dipakai di Indonesia bisa mengakibatkan kerugian milyaran rupiah baik dari sisi perusahaan listrik sendiri ataupun konsumen. Kerugian dari pihak penyalur energi listrik sebenarnya bukan hanya pada saat terjadinya kegagalan penyaluran daya, tapi telah dimulai sejak timbulnya arus bocor pada isolator sebagai akibat terjadinya pengotoran pada permukaannya [1]. Arus bocor ini secara akumulatif bisa terjadi berbulan-bulan lamanya tanpa diketahui oleh operator di lapangan karena belum tersedianya sistem pengukuran dan monitoring yang memadai. Penyebab lain tidak terdeteksinya arus bocor ini adalah karena amplitudo arusnya kecil dan oleh sistem dianggap hal ini kondisi normal

Dalam kenyataan sering terjadi kegagalan sistem akibat kegagalan isolator. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses kegagalan isolator pemasangan luar (outdoor insulator) adalah pengotoran yang terjadi pada permukaannya [2]. Pengotoran tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dimana isolator tersebut ditempatkan. Adanya pengotoran akan menyebabkan kenaikan arus bocor. Arus bocor akan mengakibatkan rugi-rugi energi listrik dan meningkatkan degradasi permukaan isolator yang pada jangka lama dapat menyebabkan kegagalan isolasi [3]. Pada penelitian ini mengamati bagaimana pengaruh kondisi permukaan isolator *coating & non coating* terhadap magnitude, bentuk gelombang, dan spektrum harmonik dari arus bocor. Dengan mengetahui hubungan antara kondisi permukaan isolator dan pola arus bocor sehingga dapat dilakukan diagnosis kondisi isolasi dari isolator.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fenomena Arus Bocor pada Isolator.

Arus bocor pada isolator terjadi karena kontaminasi pada permukaan isolator. Kontaminasi ini dapat berupa endapan garam tipis yang menempel pada permukaan isolator. Endapan garam ini bersifat konduktif yang menimbulkan arus bocor. Arus bocor ini akan bertambah besar pada udara lembab, berembun atau pada saat hujan gerimis. Arus bocor ini pada akhirnya dapat menimbulkan loncatan busur api pada permukaan isolator sehingga sistem mengalami gangguan hubung singkat fasa ke tanah.[3]

Munculnya *dry band* (yang disebabkan oleh pengeringan parsial pada lapisan kontaminasi) pada permukaan isolator menyebabkan *arc* (busur api). Busur tersebut dapat memanjang menjembatani 2 elektroda sehingga terjadi *flashover* [5]. Bahan isolator berperan penting dalam terjadinya *arc* dan *flashover* terkait dengan kelembaban, air dan sifat hidrofilik isolator [6].

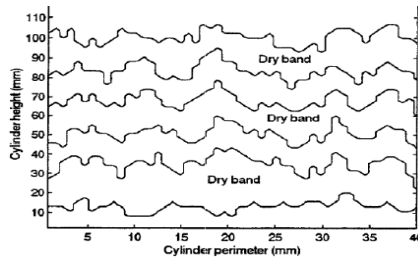
2.2. Mekanisme *Flashover*

Proses terjadinya *flashover* pada permukaan isolator dipengaruhi lingkungan sekitar, sebagai contoh Kondisi udara didaerah sekitar pantai dan daerah industry banyak mengandung polutan garam dan senyawa kimia. Angin dapat membawa polutan tersebut menempel pada permukaan sebuah material isolasi sehingga menyebabkan terjadinya kontaminasi.

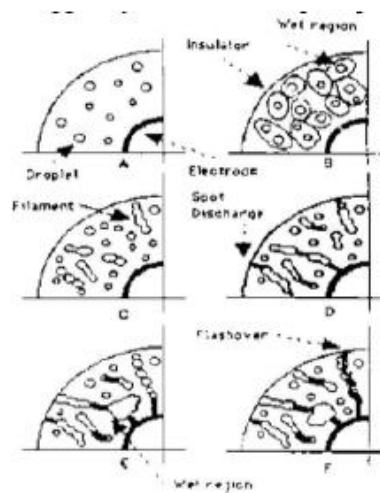
Kemudian terjadi pembasahan oleh Embun, kabut, hujan dan kondisi kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan adanya droplet pada permukaan material isolasi. Proses pemanasan terjadi akibat mengalirnya arus bocor pada permukaan isolasi yang menyebabkan terbentuknya lapisan dengan resistansi kecil dan menguapkan sebagian larutan kontaminan sehingga terbentuk *dryband* didekat elektroda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Interaksi antara droplet dan medan listrik bolak-balik menghasilkan sebuah gaya osilasi yang menyebabkan droplet menjadi semakin pnajang dan semakin merata dipermukaan isolasi. Jika jarak antara droplet semakin dekat maka droplet yang berdekatan akan menyatu membentuk sebuah filament.

Adanya filament menyebabkan berkurangnya jarak antar elektroda, sehingga meningkatkan medan listrik antara dua filamen yang berdekatan. Medan listrik itu secara intensif menyebabkan terjadinya spot discharge antara dua filament seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. *Dry and wet band.*



Gambar 2. Spot and discharge antara dua element menyebabkan flashover

Terjadinya spot discharge mengikis lapisan permukaan polimer disekitar droplet sehingga menurunkan sifat hidrofobik permukaan material isolasi. Proses koagulasi atau penggumpalan dari filament juga dapat membentuk wet region seperti terlihat pada Gambar 2. wet region ini berbeda dengan dryband, wet region muncul seolah-olah memperpanjang bentuk elektroda.

2.3. Kerusakan Isolator akibat Flashover

Meningkatnya panjang *filament* dan formasi dari *wet region* pada akhirnya akan menyebabkan jalur bocor (*leakage path*) yang merupakan sebuah jalur konduktif elektrolit sehingga terjadi *flashover*. [8]

Kerusakan isolator akibat *flashover* ditunjukkan pada Gambar 3. Pecah pada isolator ini diawali dengan munculnya bunga api pada permukaan isolator akibat polutan debu yang menempel, dan debu dan polutan ini bersifat konduktif sehingga dapat mengalirkan arus pada permukaan dan muncul bunga api. Oleh karena itu setiap isolator yang rusak akan tampak terbakar dipermukaan terlebih dahulu akibat *flashover*, setelah itu seiring di aplikasikan tegangan maka akan terjadi pecah pada tengah isolator akibat pemanasan berlebih.



Gambar 3. Isolator pecah akibat *flashover* [8]

2.4. Pengujian Isolator

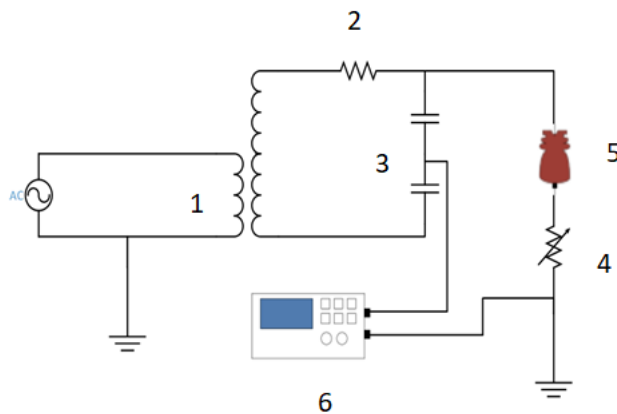
Sample yang dipakai dalam studi ini merupakan isolator keramik post pin 20 kV yang digunakan pada jaringan tegangan menengah PT PLN Persero Distribusi Jawa Timur. Pengukuran dilakukan dengan

tegangan tinggi bolak – balik pada frekuensi sistem 50 Hz. Pengujian dilakukan pada kamar uji (*box chamber*) dengan ukuran 90 x 90 x 120 cm. Suhu pada ruang uji diatur sedemikian rupa sesuai dengan suhu kamar, kelembapan juga diatur sesuai dengan lingkungan yang semestinya. Pengotoran dilakukan dengan mensimulasikan keadaan di alam berupa semen dan garam beserta campuran air[9].

Bahan uji berupa isolator akan di berikan tegangan kerja berupa tegangan bolak – balik dari level tegangan 5 kV – 50 kV dengan kenaikan tegangan per 5 kV. Setiap kenaikan tegangan di ukur dan dicuplik bentuk gelombang arus bocornya dan di lakukan analisa THD.

2.5. Rangkaian Percobaan

Rangkaian percobaan pada pengujian arus bocor adalah sebagai berikut [10]:



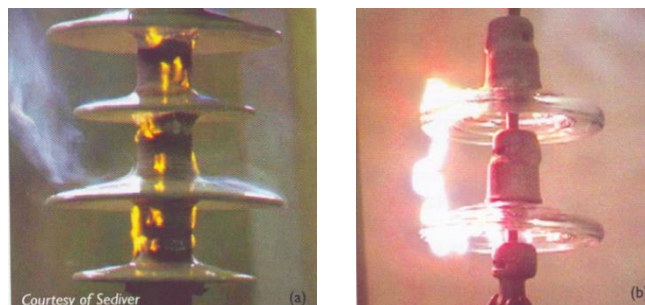
1. Trafo Tegangan Tinggi
2. Resistor Pembatas Arus ($R = 6100 \Omega$)
3. Kapasitor pengukuran ($C = 100 \text{ pF}$ dan 68 pF)
4. Resistor Paralel ($R_{\text{shunt}} = 33 \text{ k} \Omega$)
5. Isolator uji ($d = 0,3 \text{ mm}$)
6. Oscilloscope

Gambar 4. Rangkaian Percobaan Tegangan Tinggi dan Bahan

Tegangan tinggi dibangkitkan menggunakan trafo *step up* dari input tegangan 220 V menjadi tegangan tinggi yang diinginkan pada sisi sekunder. Resistor pembatas arus sebesar 6100Ω dipasang secara seri untuk membatasi arus ketika terjadi hubung singkat [11] – [14]. Pada saat pengujian, tegangan tinggi yang diterapkan pada isolator diberikan secara bertahap dengan step kenaikan tegangan sebesar 5 kV menggunakan regulator tegangan hingga mencapai tegangan maksimum sebesar 50 kV. Kapasitor sebesar 100 pF dipasang paralel digunakan untuk pembacaan hasil pengukuran.

Arus bocor pada isolator dilewatkan terlebih dahulu pada resistor shunt agar didapat tegangan yang akan dibaca gelombangnya oleh osiloskop. Pada osiloskop dapat ditampilkan besar dan bentuk gelombang tegangan input (Vs) pada *channel 1*, sedangkan gelombang tegangan hasil perkalian arus bocor I_L dengan Rshunt ditampilkan pada *channel 2*. Seluruh rangkaian percobaan ditampilkan pada Gambar 4.

Pada level tegangan diatas 50 kV kekuatan isolasi dari pin – post 20 kV sudah tidak sanggup menahan besarnya arus bocor yang terjadi , sehingga bisa terjadi flashover pada objek uji berupa pin – post isolator 20 kV yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Flashover pada isolator [9]

3. METODE PENELITIAN

Isolator untuk saluran transmisi diklasifikasikan menurut penggunaannya dan konstruksinya menjadi isolator gantung (*suspension*), jenis pasak (*pin-type*), jenis batang panjang (*long-rod*) dan jenis pos-saluran

(line-post). Gandengan isolator gantung pada umumnya dipakai pada saluran transmisi tegangan tinggi, sedang isolator batang panjang dipakai di tempat-tempat dimana pengotoran udara karena garam dan debu banyak sekali. Kedua jenis yang lain dipakai pada saluran transmisi yang relatif rendah (kurang dari 22 – 33 kV (kurang dari 22 – 33 kV) [4].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menjelaskan hasil pengukuran arus bocor pada pengujian arus bocor pada isolator tipe pin – post 20 kV. Pengukuran dimulai dari level tegangan paling rendah yaitu 5 kV sampai level tegangan tertinggi yaitu 50 kV. Pengukuran dilakukan setiap kenaikan level tegangan sebesar 5 kV. Hasil pengukuran akan direkam menggunakan Osiloskop untuk melihat spektrum gelombang arus bocor dan memberikan perbandingan antara isolator *coating* dan *non coating*.

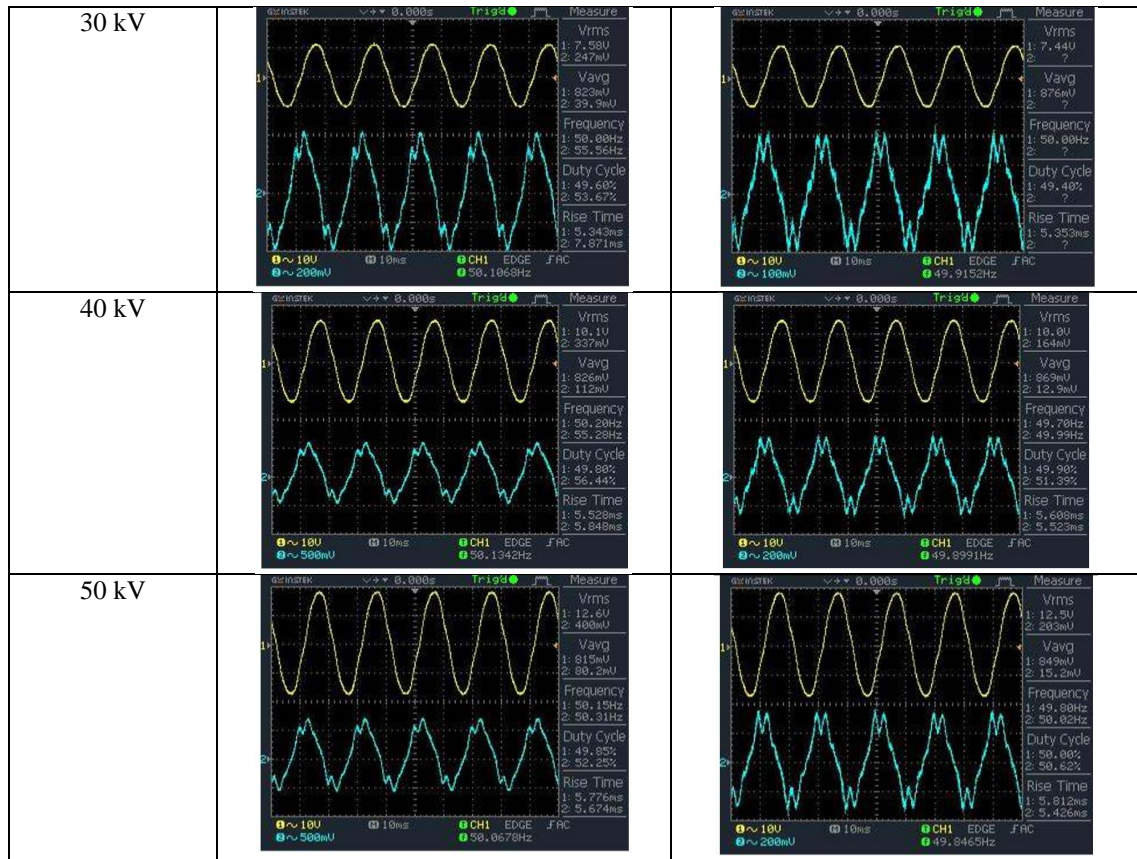
4.1. Hasil Perekaman Gelombang

Gelombang arus bocor ini direkam dengan menggunakan osiloskop digital GDS 2104 produksi GW INSTEK. Suhu ruangan pada saat pengujian adalah 28⁰C , dengan *humidity* sebesar 51 % RH. Untuk mensimulasikan pengotoran yang terjadi di alam, digunakan polusi buatan berupa semen yang ditaburkan secara merata di permukaan isolator dan polusi garam berupa larutan yang terdiri dari campuran air, garam, dan kaolin, dimana isolator dicelupkan secara merata menurut standart IEC 815 [12].

Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator akan diukur menggunakan prinsip tegangan jatuh pada resistor seri menggunakan digital oscilloscope. Data diital dari oscilloscope ditransfer ke computer menggunakan USB, dan selanjutnya akan di olah dan ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 1. Tabel perekaman hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe pin – post.

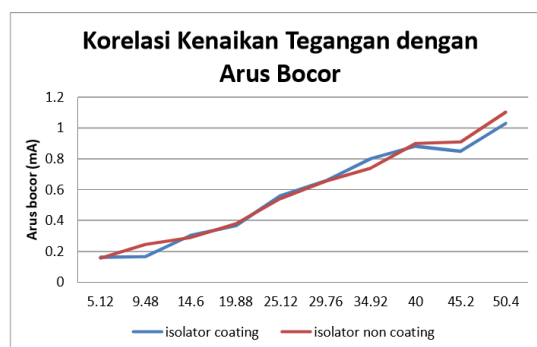
Level Tegangan	Coating	Non - Coating
5 kV		
10 kV		
20 kV		



Berdasarkan hasil diatas terlihat bahwa arus bocor yang dihasilkan sangat terdistorsi dengan THD (Total Harmonic Distortion) yang cukup tinggi. Terukur pada level tegangan 20 kV arus bocor yang terukur memiliki RMS sebesar 0,0432 A dengan THD sebesar 15,76 %. Namun berdasarkan bentuk gelombang dapat diketahui Dari hasil perekaman gelombang yang menunjukkan beda fasa arus bocor terhadap tegangan sumber bersifat leading hampir mendekati $\alpha = 90^0$, disimpulkan bahwa rangkaian arus bocor mempresentasikan nilai kapasitor akibat adanya medan listrik antara 2 terminal isolator dan sifat kapasitansi rangkaian tegangan tinggi.

4.2. Analisa Arus Bocor

Dari analisa data pengujian terlihat bahwa kenaikan tegangan yang dikenakan pada isolator akan menyebabkan kenaikan nilai arus bocor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



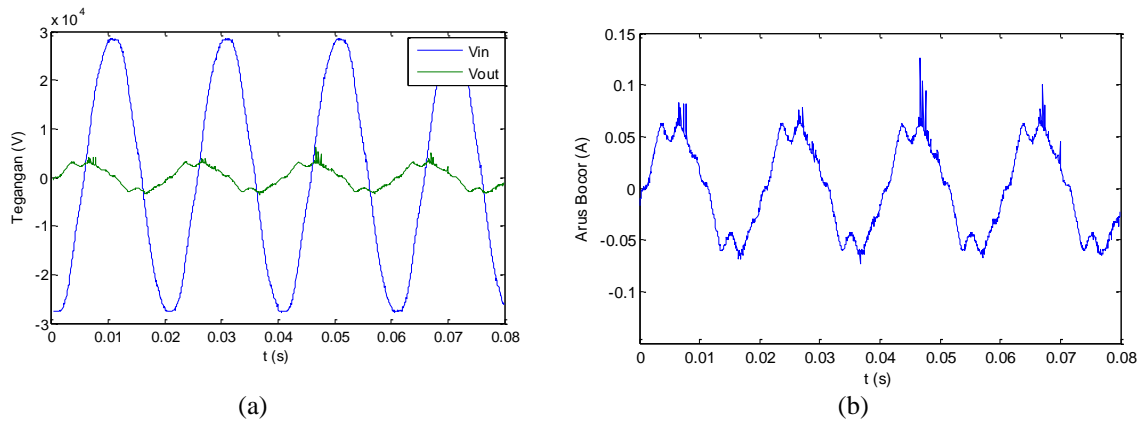
Gambar 6. Perbandingan besar arus bocor pada isolator

Grafik menunjukkan bahwa hubungan antara arus bocor bersifat linier terhadap tegangan isolator. Pada saat tegangan dinaikkan akan terjadi kenaikan stress tegangan pada isolator dan kenaikan kuat medan listrik yang akan mempercepat pelepasan muatan electron pada permukaan isolator sehingga arus bocor terjadi pada permukaan isolator. Kenaikan nilai arus bocor pada isolator non coating akan lebih besar apabila

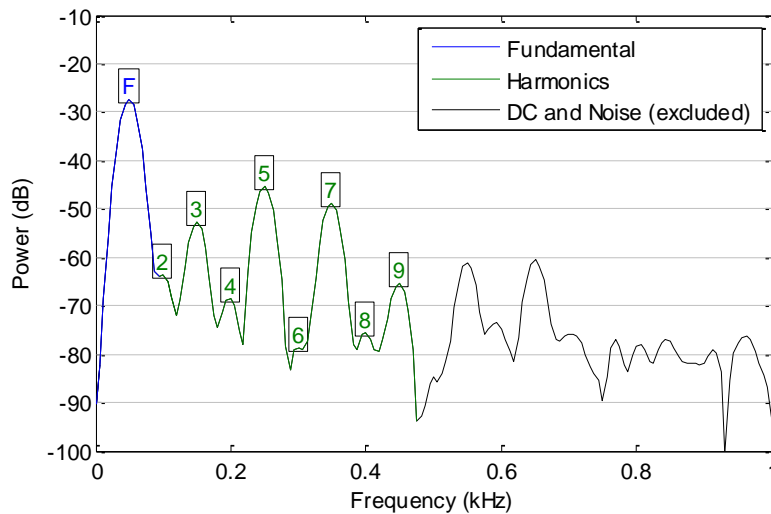
dibandingkan dengan isolator yang telah dicoating disebabkan distorsi arusnya memiliki puncak yang lebih tinggi. Kenaikan nilai arus bocor pada isolator non coating akan lebih besar apabila dibandingkan dengan isolator yang telah dicoating disebabkan distorsi arusnya memiliki puncak yang lebih tinggi sebesar 5 %

4.3. Analisa THD Spektrum

Perekaman gelombang dan analisa THD Spektrum pada isolator dalam keadaan diberikan polutan (campuran semen dan garam) pada suhu dan kelembaban relative pada ruang uji sebesar 24,8 °C ; 82,8 %, dengan menggunakan tegangan uji sebesar 20 kV, hasil pengujian direkam dan ditunjukkan pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7(a). Gelombang arus bocor pada tegangan uji 20 kV ; (b) Perbesaran Gelombang THD: -15.76 dB



Gambar 8. Spektrum harmonic arus bocor pada tegangan uji 20 kV

Pada Gambar 7(b), arus bocor yang terukur sebesar (rms) 0,0432 A, dengan bentuk gelombang arus bocor yang cukup terdistorsi dari bentuk sinusoidal murni akibat adanya polutan (campuran semen dan garam). Gambar 8 menunjukkan bahwa muncul komponen harmonic ke – 5 pada frekuensi 250 Hz dan ke – 7 pada frekuensi 350 Hz dengan amplitude yang kecil dibandingkan dengan fundamentalnya. Dari hasil analisa THD Spektrum arus bocor juga menunjukkan THD sebesar -15,76 db.

5. KESIMPULAN

Pengujian dilakukan terhadap sample uji berupa isolator tipe pin – post yang diaplikasikan di level tegangan 20 kV pada jaringan distribusi tegangan menengah milik PT PLN Persero, Berdasarkan hasil pengujian dan analisa maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Semakin besar tegangan uji maka nilai arus bocor akan semakin besar secara linear.
2. Beda fasa arus bocor terhadap tegangan sumber bersifat leading hampir mendekati $\alpha = 90^0$. Sehingga arus bocor ini bersifat kapasitif akibat pemasangan kapasitor di rangkaian pengujian.

3. Arus bocor pada keadaan isolator tanpa coating terpapar polutan lebih besar bila dibandingkan dengan isolator yang telah dicoating dengan perbedaan distorsi arus puncak sebesar 5 %.
4. Pada keadaan Tegangan 20 kV arus bocor yang terjadi memiliki RMS sebesar 0,0432 A dengan THD sebesar 15,76 db.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Boudisa, R. Djafri, S. Haddad, A. Belaicha, R. Bearsh, R. Effect of insulator shape on surface discharges and flashover under polluted condition, IEEE Transactions on Dielectric and Electrical insulation, Vol 12 No 3, June 2005, pp 429 – 437
- [2] Suwarno, Leakage Current waveform of outdoor polymeric insulator and possibility application for diagnostic of insulator condition, Journal electrical engineering and technology, Vol 1 No 1, 2006, pp 114 – 119
- [3] IEEE Standard 1523, “IEEE Guide for the Application, Maintenance and Evaluation of Room Temperature Vulcanizing (RTV) Silicone Rubber Coatings for Outdoor Ceramic Insulators”, 2002.
- [4] E.A. Cherney, “RTV Silicone –A high Tech Solution for A Dirty Insulation Problem” IEEE Electrical Insulation Magazine, 1995
- [5] E.A. Cherney, “RTV Silicone Rubber Coating for Substation Insulator Maintenance” IEEE conference publication, 1993
- [6] E.A. Cherney, R. Hackam and S.H. Kim, “Porcelain Insulator Maintenance with RTV Silicone Rubber Coatings”, IEEE transaction on power delivery, 1991
- [7] Saadat, H. (2004). *Power System Analysis Second Edition*. Singapore: McGraw-Hill International Edition.
- [8] Wood, A. J. (1998). *Power Generation, Operation and Control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Zhu, J. (2009). *Optimization Of Power System Operation*. China: A John Wiley & Sons, INC.
- [10] James L. Goudie “Silicon for Outdoor Insulator Maintenance”, IEEE conference publications, 2002
- [11] S.H. Kiem, E.A. Cherney, R. Hackam, “Hydrophobic Behaviour of Insulator Coated with RTV Silicone Rubber”, IEEE conference publications, 1991
- [12] H. Deng, R. Hackam, E.A. Cherney, “Factors Influencing the Electrical Performance of RTV Silicone Rubber Coating”, IEEE conference publications, 1994
- [13] Suwarno, Feri Pratomosiwi, “Application of RTV Silicone Rubber Coating for Improving Performance of Ceramic Outdoor Insulator Under Polluted Condition”, IEEE Conference Publications, 2009
- [14] Zhidong Jia, Su Fang, Haifeng Gao, Zhicheng Guan, Limiang Wang, Zhihai Xu, “Development of RTV Silicone Coating in China : Overview and Bibliography”, IEEE Electrical Insulation Magazine, 2008
- [15] E.A. Cherney, R.S.Gorur, “RTV Silicone Coating for Outdoor Insulators”, IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation, 1999