

Karakteristik Flashover pada Isolator Non Keramik

Agus Supardi

Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Unjuk kerja isolator non keramik dalam kondisi terpolutan adalah lebih baik daripada isolator porselin. Paper ini menggambarkan mekanisme penumpukan polutan pada isolator dan proses terjadinya flashover. Isolator silicone rubber yang diletakkan di luar ruangan dalam jangka waktu yang lama menghasilkan sebuah lapisan tipis yang merupakan campuran dari debu, garam dan minyak silikon. Embun atau embun pagi menghasilkan titik air pada permukaan isolator dan membentuk daerah konduktif. Pelepasan titik dimulai dari daerah-daerah tersebut yang menyebabkan berkurangnya hidrofobisitas isolator. Busur pita kering yang terjadi secara simultan bisa mendorong terjadinya flashover. Tegangan flashover pada isolator non keramik terpolutan adalah lebih besar daripada isolator keramik.

Kata Kunci: mekanisme, flashover, isolator non keramik.

1. Pendahuluan

Pemakaian isolator komposit *silicone rubber* telah berkembang secara signifikan. Pengamatan di lapangan dan pengujian di laboratorium (Vlastos and Sherif, 1990; Gorur et al., 1992) menunjukkan unjuk kerja yang lebih baik pada kondisi terpolutan. Tegangan flashover isolator komposit terpolutan lebih tinggi daripada isolator porselin atau kaca (Schneider and Lux, 1991). Walaupun penuaan akan mengurangi tegangan flashover isolator komposit terpolutan, keseluruhan unjuk kerjanya masih lebih baik daripada isolator porselin (Schneider et al., 1992).

Unjuk kerja yang lebih baik dari *silicone rubber* dibanding dengan porselin dan kaca berkaitan dengan hidrofobisitas permukaannya. Pada sebuah permukaan yang hidrofobik, air yang jatuh tidak akan membasahi seluruh permukaan. Hal ini akan mengurangi arus bocor dan kemungkinan terjadinya formasi pita kering yang akan mendorong terjadinya tegangan flashover (Schneider and Lux, 1992).

Pengujian menunjukkan bahwa kontaminasi yang besar bersamaan dengan pembasahan menghasilkan busur di permukaan, yang akan merusak sifat hidrofobisitas permukaan dan menaikkan arus bocor.

Meskipun begitu, hidrofobisitas permukaan akan kembali setelah 10-12 jam (Gorur et al., 1990). Pemulihan hidrofobisitas permukaan disebabkan oleh proses difusi molekul polimer ringan dari polimer ke permukaan (Gorur et al., 1990; 1992).

Pengaruh radiasi sinar ultraviolet dan busur api menyebabkan penuaan permukaan *silicone rubber*, yang akan mengurangi umur isolator. Selain itu,

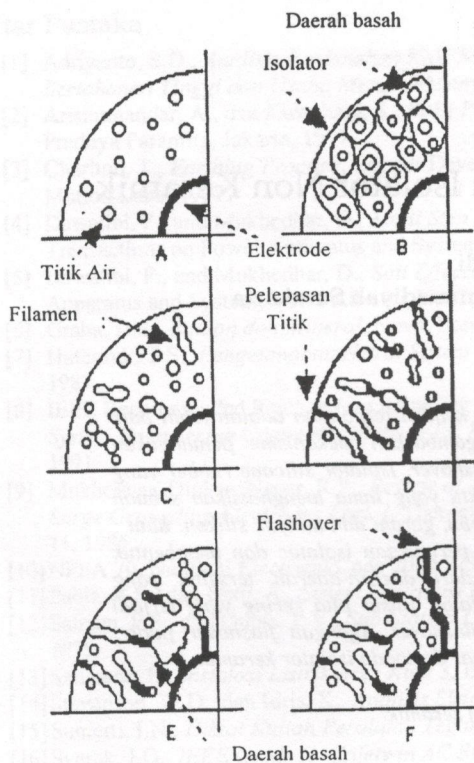
pemakaian dalam jangka panjang akan mengubah karakteristik permukaan *silicone rubber* (De Tourreil and Lamberth, 1990).

Sifat hidrofobisitas permukaan alami *silicone rubber* menyebabkan mekanisme tegangan flashover yang berbeda.

2. Mekanisme Flashover

2.1. Proses terjadinya kontaminasi

- Kontaminasi polutan di Daerah Pantai
Angin membawa titik-titik air pada permukaan isolator di dekat pantai. Kontaminan terutama terdiri atas garam yang menjadi satu di dalam titik-titik air. Permukaan *silicone rubber* akan diselimuti oleh titik-titik air. Ketika titik-titik air ini mengering, permukaan isolator akan diselimuti oleh titik-titik kontaminan. Adanya busur api di permukaan dan UV akan merusak hidrofobisitas permukaan. Hal ini mendorong pembentukan sebuah lapisan air kontinu dan lapisan polutan seragam pada isolator *silicone rubber*.
- Kontaminasi Polutan di Daratan
Angin membawa debu atau polusi industri yang akan menempel pada permukaan isolator. Adanya embun atau kabut akan membasahi lapisan polutan. Interaksi antara air dan polutan akan membentuk sebuah lapisan kontinu di permukaan isolator.



Gambar 1. Proses terjadinya flashover (Karady et al., 1995)

2.2. Difusi Molekul Polimer Ringan

Proses difusi akan memindahkan molekul polimer ringan yang akan membentuk lapisan tipis pada bagian atas lapisan polutan. Fenomena ini menyebabkan permukaan akan mendapatkan kembali hidrofobisitasnya setelah 10–12 jam pada kondisi tanpa busur api. Fenomena difusi ini tidak terjadi pada permukaan porselin.

2.3. Pembasahan Permukaan

- Perpindahan Polutan ke Titik-titik Air
Kabut, embun pagi, hujan lebat atau kelembaban yang tinggi akan menghasilkan titik-titik air pada permukaan isolator sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.A. Proses difusi akan memindahkan polutan. Garam dari polutan bergabung dengan titik-titik air sehingga menjadi bersifat konduktif. Pada permukaan isolator porselin terjadi kebalikannya. Air diserap oleh polutan di permukaan isolator yang akan menghasilkan sebuah lapisan konduktif kontinu.
- Perpindahan Air ke Polutan
Proses difusi akan memindahkan air dari titik-titik air melalui lapisan tipis polimer dan menuju polutan. Proses ini akan menghasilkan lapisan beresistans tinggi di sekitar titik-titik air, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.B.

Pembasahan permukaan yang terus-menerus akan meningkatkan kepadatan titik-titik air pada permukaan yang menghubungkan daerah basah dan membentuk sebuah lapisan beresistans tinggi yang diselimuti oleh titik-titik air bersifat konduktif.

2.4. Pemanasan Ohm

Pada isolator komposit, tegangan yang dikenakan padanya akan menyebabkan adanya aliran arus bocor yang kecil melalui lapisan beresistans tinggi. Adanya pemanasan akan menyebabkan resistansnya turun secara perlahan-lahan. Pemanasan dan kehilangan kelembaban secara simultan akan menaikkan resistans permukaan. Kedua fenomena ini yang berlawanan ini mencapai kondisi kesetimbangan pada arus bocor yang lebih rendah. Pada titik ini, isolator komposit diselimuti oleh lapisan beresistans tinggi yang tersebar dengan titik-titik air bersifat konduktif.

Pada isolator porselin, pemanasan Ohm akan mengeringkan lapisan beresistans rendah dan menguapkan airnya. Pengeringan lebih banyak terjadi di dekat elektroda yang kepadatan arusnya lebih tinggi. Sebagai akibat penguapan yang besar, pita kering yang kecil terbentuk di dekat elektrode. Pembentukan pita kering akan menghentikan arus bocor.

2.5. Pengaruh Medan Listrik Pada titik Air

Pembasahan akan menyebabkan kenaikan kepadatan titik-titik air dan mengurangi jarak antara titik-titik air. Interaksi antara medan listrik AC dan titik-titik air akan menghasilkan gaya bolak-balik yang meratakan dan memperpanjang titik air.

Jika jaraknya cukup dekat, titik-titik air yang berdekatan akan bergabung dan terbentuk filamen seperti ditunjukkan pada gambar 1.C. Filamen ini merupakan daerah konduktif yang dikelilingi oleh daerah beresistans tinggi. Filamen-filamen ini terbentuk secara random pada keseluruhan permukaan.

2.6. Pelepasan Titik

Filamen-filamen akan mengurangi jarak antara elektrode yang mendorong peningkatan medan listrik antara filamen-filamen yang berdekatan. Medan ini menghasilkan pelepasan titik antara filamen seperti ditunjukkan ada gambar 1.D. Pelepasan titik terdistribusi secara random sepanjang permukaan.

2.7. Kehilangan Hidrofobisitas

- Pemanjangan Filamen
Pelepasan titik akan merusak hidrofobisitas permukaan. Penurunan hidrofobisitas akan menyebabkan filamen bergabung satu sama lain. Pemanjangan filamen menyebabkan peningkatan medan yang lebih besar dan terjadi pelepasan titik pada ujung filamen.
- Pembentukan Daerah Basah
Medan listrik tinggi di sekitar elektrode menghasilkan korona dan pelepasan permukaan. Pelepasan lokal ini akan merusak hidrofobisitas permukaan yang akan mendorong terjadinya suatu bagian tak teratur

pada daerah basah sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.E.

Daerah ini berbeda dengan pita kering pada isolator porselin. Daerah ini kelihatan seperti sebuah bidang kecil memanjang dari elektrode. Daerah basah ini dikelilingi oleh lapisan beresistans tinggi yang diselimuti oleh titik-titik air.

Gambar 1.E. menunjukkan bahwa pada titik-titik ini, permukaan isolator komposit diselimuti oleh daerah basah, filamen dan titik-titik air yang terdistribusi secara random di sekitar permukaan.

Pada isolator porselin, pita kering terbentuk di dekat elektrode sebagaimana pada daerah dengan medan listrik yang lebih tinggi. Bagian sisa isolator diselimuti oleh lapisan elektrolit konduktif. Tekanan naik sepanjang pita kering dan menghasilkan busur api.

2.8. Flashover

Pemanjangan filamen dan pembentukan daerah basah akhirnya akan memperpendek isolator melalui bagian bersifat konduktif. Permukaan konduktif ini akan menyediakan jalur bagi busur api yang akan terjadi jika $E_{busur} < E_{filamen}$. Busur api akan merambat pada permukaan konduktif yang menyebabkan terjadinya flashover sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.F.

Pada isolator porselin, busur pita kering akan membesar dan menghasilkan flashover jika $E_{busur} < E_{polutan}$.

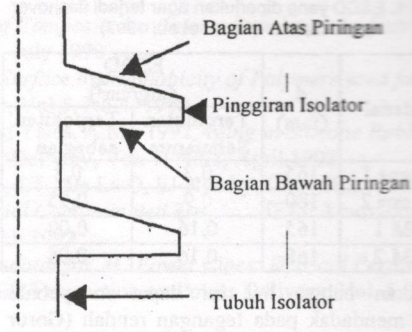
3. Flashover Pada Isolator

Mekanisme flashover pada isolator yang sesungguhnya adalah lebih kompleks karena isolator dibagi menjadi empat daerah yang berbeda seperti ditunjukkan pada gambar 2. Daerah tersebut adalah bagian atas piringan, pinggir, bagian bawah piringan dan tubuh isolator. Dari survey didapatkan bahwa tingkat kontaminasi pada setiap daerah tersebut berbeda sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3. Proses pembasahan permukaan tergantung pada posisi permukaan. Sebagai contoh, titik-titik air cenderung akan menggelling pada permukaan vertikal.

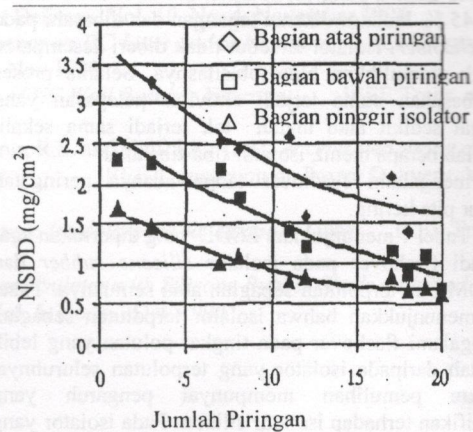
Kabut dan rintik hujan akan menghasilkan pembasahan yang lebih atau kurang seragam. Hujan disertai dengan angin mungkin hanya akan membasahi sebagian isolator dan menghasilkan pembasahan yang tak seragam. Angin mungkin juga membuat isolator terpolutan sebagian polutan yang akan meningkatkan kekasaran permukaan.

4. Isolator Terpolutan dan Terbasahi Seragam

Sebuah isolator *silicone rubber* 69 kV diberi polutan dan disimpan selama 10 jam untuk mengeringkannya dan untuk mengijinkan proses pemulihan hidrofobisitas. Sesudah itu isolator ditempatkan dalam *fog chamber* dan diberi tegangan 0,4 kV/cm serta dikabutkan. Proses pembasahan



Gambar 2. Bagian-bagian isolator



Gambar 3. Distribusi polutan pada isolator (Karady, 1995)

diamati dengan kamera video (Karady and Shah, 1995). Hasilnya adalah sebagai berikut:

Pembasahan permukaan dimulai dengan adanya penempelan titik-titik air pada permukaan isolator. Titik-titik air pada bagian atas piringan menggelling ke bawah. Jumlah titik air pada permukaan atas lebih besar daripada bagian bawah.

Arus bocor pada isolator kering merupakan arus sinusoidal disertai derau. Pada saat proses pembasahan arus bocornya naik. Pelepasan titik mulai terjadi pada bagian atas piringan. Hal ini akan menghasilkan arus bocor berbentuk pulsa.

Arus bocor akan mengeringkan permukaan dan membentuk pita kering pada bagian tubuh isolator yang mana arus bocornya paling besar. Setelah beberapa menit, busur pita kering terjadi pada bagian tubuh isolator. Arus bocor meningkat dan bentuk gelombangnya menjadi sinusoidal terdistorsi. Busur meluas pada permukaan piringan ketika pelepasan titik terjadi pada daerah basah dan busur menjalar di antara daerah tersebut. Lamanya busur api sampai beberapa siklus. Terakhir akan terjadi flashover pada isolator.

5. Isolator Terpolutan dan Terbasahi tak Seragam

Angin dan hujan mungkin akan menyebabkan pembasahan yang tak seragam atau isolator yang terpolutan sebagian. Pengujian di laboratorium

Tabel 1. ESDD yang diperlukan agar terjadi flashover pada isolator (Gorur et al., 1997)

Material	d (mm)	ESDD (mg/cm ²)	
		Terpolutan Semuanya	Terpolutan sebagian
Silicone 1	165	0,3	0,2
Silicone 2	180	0,9	0,25
EPDM 1	165	0,16	0,09
EPDM 2	168	0,16	0,06

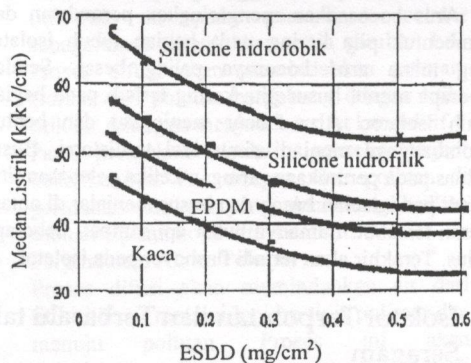
menunjukkan bahwa hal ini dapat menyebabkan flashover mendadak pada tegangan rendah (Gorur et al., 1997). Isolator diberi polutan dan dibersihkan pada sebagian permukaannya baik pada bagian atas atau bawah. Bagian yang dibersihkan divariasi mulai dari 5 % - 45 %. Isolator dikenai tegangan dan dibasahi pada *fog chamber*. Isolator tersebut tidak diberi kesempatan untuk memulihkan hidrofobitasnya. Selama proses pembasahan cuma terjadi aktivitas pelepasan yang sangat sedikit atau malah tak terjadi sama sekali. Setelah berapa menit, isolator tiba-tiba akan

mengalami flashover tanpa adanya peringatan busur pita kering.

Tabel 1 menunjukkan ESDD yang diperlukan agar terjadi flashover pada isolator *silicone rubber* dan EPDM bila terpolutan sebagian atau semuanya. Tabel ini menunjukkan bahwa isolator terpolutan sebagian mengalami flashover pada tingkat polutan yang lebih rendah daripada isolator yang terpolutan seluruhnya. Waktu pemulihan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap isolator silikon. Pada isolator yang pulih sifat hidrofobiknya, tidak terjadi flashover. Flashover mendadak mungkin merupakan fenomena flashover selama badai dan kondisi cuaca yang buruk.

6. Pengujian Flashover

Tegangan flashover yang sesungguhnya yang terjadi pada kondisi alamiah tidak dapat diukur. Meskipun begitu, pengalaman operasi telah membuktikan bahwa isolator non keramik mempunyai unjuk kerja yang lebih baik daripada isolator porselin pada kondisi terpolutan (Houlgate and Swift, 1990). Sebagai contoh isolator porselin yang dipasang di



Gambar 3. Medan listrik berbagai isolator (Karady, 1999)

Tabel 2. Pengaruh penuaan alamiah pada tegangan flashover isolator non keramik (De Tourreil and Lambert, 1990)

Material	d (mm)	ESDD (mg/cm ²)	
		Terpolutan Semuanya	Terpolutan sebagian
Silicone 1	165	0,3	0,2
Silicone 2	180	0,9	0,25
EPDM 1	165	0,16	0,09
EPDM 2	168	0,16	0,06

daerah berpolutan di Los Angeles menunjukkan flashover yang teratur. Personel perusahaan listrik di daerah tersebut harus mencuci isolator tersebut secara teratur untuk menghindari pemadaman. Ketika isolator tersebut diganti dengan isolator non keramik, pemadaman karena flashover tidak terjadi lagi. Jarak rangkai isolator non keramik yang dipakai sama dengan isolator porselin. Hal ini membuktikan bahwa tegangan flashover isolator non keramik lebih besar daripada isolator porselin (Nellis, 1989).

Pengujian di laboratorium juga menunjukkan bahwa tegangan flashover isolator *silicone rubber* dan EPDM lebih besar daripada isolator kaca (Schneider et al., 1993). Gambar 3 membandingkan medan listrik yang berkaitan dengan tegangan flashover dari isolator silikon rubber, EPDM dan kaca. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tegangan flashover isolator turun bila polutan semakin besar. Selain itu, tegangan flashover isolator silikon yang hidrofobik lebih besar daripada yang hidrofilik. Data ini hanya dapat digunakan untuk perbandingan saja karena tegangan flashover yang sesungguhnya tergantung pada umur, bentuk, jarak rangkai dan ukuran isolator.

Penuaan akan menurunkan tegangan flashover isolator non keramik. Berdasarkan penelitian Tourreil and Lambert (1990) diperoleh hasil pengujian flashover terpolutan pada isolator yang mengalami penuaan alamiah. Hasilnya ditunjukkan pada tabel 2. Isolator tersebut dipasang selama 40 bulan pada saluran transmisi 230 kV di Nova Scotia di dekat pembangkit berbahan bakar batubara dan di dekat Samudra Atlantic. Rerata ESDDnya adalah 0,001-0,017 mg/cm². Tabel tersebut menunjukkan bahwa penuaan alamiah akan menurunkan tegangan flashover. Pengurangannya tidak terlalu signifikan yaitu kurang dari 15 %.

7. Kesimpulan

Dari pembahasan sebelumnya dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kontaminasi polutan pada isolator *silicone rubber* akan membentuk sebuah lapisan tipis yang terdiri atas debu, garam dan campuran minyak silikon yang bila basah akan menghasilkan resistans permukaan yang besar.
2. Tegangan flashover isolator non keramik lebih besar daripada isolator porselin pada kondisi terpolutan.
3. Penuaan akan menurunkan tegangan flashover.

Daftar Pustaka

[1] De Turreil, C.H. and Lamberth, P.J., 1990, *Aging of Composite Insulators: Simulation by Electrical Test*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, July 1990

[2] Gorur, R.S., Chang, J. And Amburgey, O.G., 1990, *Surface hydrophobicity of Polymers used for Outdoor Insulation*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No.4, 1990

[3] Gorur, R.S., Karady, G.G., Jagota, A., Shah, M. And Yates, A.M., 1992, *Aging in Silicone Rubber used for Outdoor Insulation*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 7, No.2, April 1992

[4] Gorur, R.S., Mukherjee, H., Sundaram, R., Bunham, J.T., De La O, El-Kishky, Chowdhary, 1997, *Sudden Flashover of the Ceramic Insulators in Artificial Contaminated Tests*, IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.4, No.1, Feb 1997

[5] Houlgate, R.G. and Swift, D.A., *Composite Rod Insulator for AC Power Lines: Electrical Performance of Various Design at a Coastal Testing Station*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, October 1990

[6] Karady, G.G., 1999, *Flashover Mechanism of the ceramic Insulators*, IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No., 5 October 1999

[7] Karady, G.G. and Shah, M., 1995, *Flashover Mechanism of Silicone Rubber Insulators Used for Outdoor Insulation-II*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 10, No. 4, November 1995

[8] Nellis, C.L., 1989, *Contaminated Insulator Performance on EC Lines and Substations*, IEEE Trans on Transmission and Distribution, Vol. 41, No.11, Nov 1989

[9] Schneider, H.M. and Lux, A.E., 1991, *Mechanism of EC Wall Bushing Flashover*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.6, No. 1, Jan. 1991

[10] Schneider, H.M., Guidi W.W., Burnham, J.T., Gorur, R.S. and Hall, J.F., 1993, *Accelerated Aging and Flashover Test on 115kV Ceramic Line Post Insulators*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 8, No.1, 1993

[11] Schneider, H.M., Hall, J.F. and Karady, G., *Ceramic Insulators for Transmission Lines*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 4, No.4, April 1992

[12] Vlastos, A.E. and Sherif, E.M., 1990, *Experience from Insulator with Silicone Rubber Sheds and Shed Coatings*, IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 4, , Oct. 1990

1. Pendahuluan

Konsep ini membahas tentang perbandingan antara insulator keramik dengan insulator non keramik. Pada dasarnya insulator keramik memiliki harga yang lebih mahal daripada insulator non keramik yang lebih murah. Selain itu, insulator keramik memiliki umur pakai yang lebih panjang dibandingkan dengan insulator non keramik yang memiliki umur pakai yang lebih pendek. Insulator keramik juga memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan insulator non keramik yang memiliki kemampuan menahan beban yang lebih kecil.

Salah satu insulator non keramik yang digunakan adalah insulator komposit. Insulator komposit memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan insulator keramik, yaitu memiliki umur pakai yang lebih panjang, tahan terhadap kontaminasi, dan memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar.

Insulator komposit memiliki beberapa kelemahan, yaitu memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan insulator keramik, dan memiliki kemampuan menahan beban yang lebih kecil.

Insulator non keramik memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan insulator keramik, yaitu memiliki umur pakai yang lebih panjang, tahan terhadap kontaminasi, dan memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar.

2. Sistem Transmisi Tegangan Tinggi (Matawayah)

Sistem transmisi tenaga listrik bertegangan tinggi (THT) adalah sistem tenaga listrik yang tegangan operasinya di atas 100 kV. Sistem transmisi tenaga listrik bertegangan tinggi memiliki beberapa kelebihan, yaitu memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar, tahan terhadap kontaminasi, dan memiliki umur pakai yang lebih panjang.

Properti LCI memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan insulator keramik, yaitu memiliki umur pakai yang lebih panjang, tahan terhadap kontaminasi, dan memiliki kemampuan menahan beban yang lebih besar.