

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Isolator Gantung

Isolator gantung biasanya ditemukan pada tiang-tiang siku saluran transmisi maupun distribusi tenaga listrik. Dimana pada saluran transmisi tegangan tinggi isolator gantung yang dibutuhkan tidak hanya satu buah saja melainkan terdiri dari beberapa isolator, yang terhubung secara bergandengan, sedang pada saluran distribusi isolator tersebut biasanya terdiri dari satu atau lebih (*Arismunandar. A, Kuwahara. S, teknik tenaga listrik jilid II, 2004*). Isolator gantung harus memenuhi dua fungsi utama yaitu fungsi mekanik dan fungsi elektris. Secara mekanik isolator gantung berfungsi menahan beban mekanis dari penghantar yang terpasang padanya. Secara elektris isolator gantung berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan dengan bagian yang seharusnya bebas dari tegangan.

Dalam fungsinya mengisolasi, isolator diharapkan mempunyai sifat tidak menghantar sama sekali. Tetapi keadaan ini tidak mungkin diperoleh, karena pengaruh udara luar, permukaan isolator bias menjadi konduktif. Hal ini dapat mengakibatkan berkurangnya kemampuan isolator dalam menahan tegangan, bahkan isolator dapat gagal menjalankan fungsinya. Kegagalan ini dapat berupa terjadinya kebocoran arus atau dalam gradient tegangan tinggi bias mengakibatkan terjadinya lewat denyar (*flashover*) pada permukaan isolator. Panas yang terjadi akibat lewat denyar (*flashover*) pada permukaan

isolator dapat mengakibatkan kerusakan (*Arismunandar. A, Kuwahara. S, teknik tenaga listrik jilid II, 2004*). Apabila kondisi ini tidak diatasi maka hal ini akan memperpendek umur operasi isolator.

2.2. Beberapa Hal Yang Perlu Diperhatikan Dalam Pemeliharaan Isolator

Dalam pemilihan isolator gantung terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu material isolator, bentuk isolator, kinerja isolator pada berbagai kondisi operasi dan biaya.

Masalah utama pada material isolasi adalah sifat mekanis dan sifat listrik bahan dielektriknya (*Arismunandar. A, Teknik tegangan tinggi, 2001*). Bahan dielektrik yang digunakan untuk membuat isolator pada umumnya porselin dan gelas. Secara listrik bahan harus mempunyai kuat dielektrik (*dielectric strength*) yang cukup besar, sedangkan secara mekanis bahan tersebut harus kuat dan tahan terhadap pengaruh perubahan kondisi udara. Kekuatan mekanik isolator ini nantinya juga akan dipengaruhi oleh bentuk isolator, konstruksi, dan bahan pengikat yang dipergunakan. Dilihat dari sifat-sifat tersebut, gelas mempunyai beberapa kelebihan dari porselin, yaitu kuat dielektrik lebih tinggi dan secara mekanis lebih kuat, tetapi gelas lebih rapuh. Disamping itu gelas juga mengandung alkali yang bersifat kedap air. Hal ini yang menyebabkan isolator yang terbuat dari gelas lebih konduktif (dalam harga kelembaban tertentu).

Kinerja isolator dipengaruhi oleh bentuk permukaannya, bentuk permukaan isolator (bersama ukurannya) akan menentukan jarak yang harus

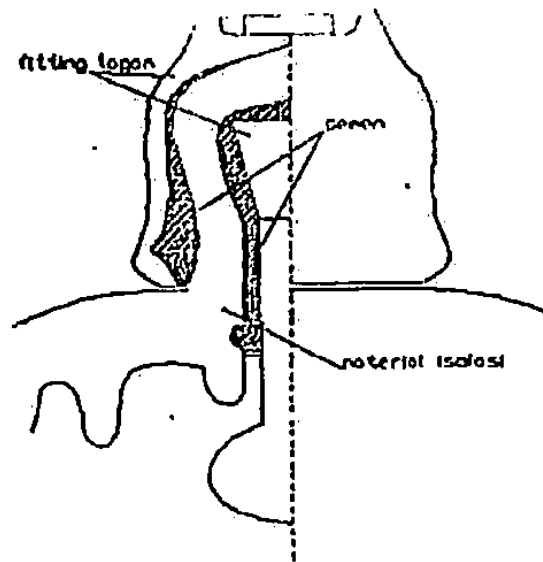
ditempuh oleh lewat denyar (*flashover*). Jika terjadi lewat denyar (*flashover*), bentuk permukaan isolator juga mempengaruhi terbentuknya lapisan debu pada permukaan. Bentuk isolator ini juga harus dipadukan dengan efek pencucian permukaan isolator oleh air hujan. Pada keadaan hujan diharapkan semua kotoran yang menempel pada permukaan isolator ikut mengalir bersama air hujan.

Kinerja isolator secara umum dapat diketahui dari data teknis isolator yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya, yang dibuat berdasarkan pengujian yang dilakukan oleh pabrik tersebut.

Selain pertimbangan diatas, pemilihan isolator juga harus dipertimbangkan faktor biaya.

2.3. Kontruksi Isolator

Isolator terdiri dari beberapa bagian, yaitu bagian material dielektrik (berbentuk piring), bagian fitting logam sebagai penyangga, dan semen pengisi sebagai penutupung kedua bagian tersebut.



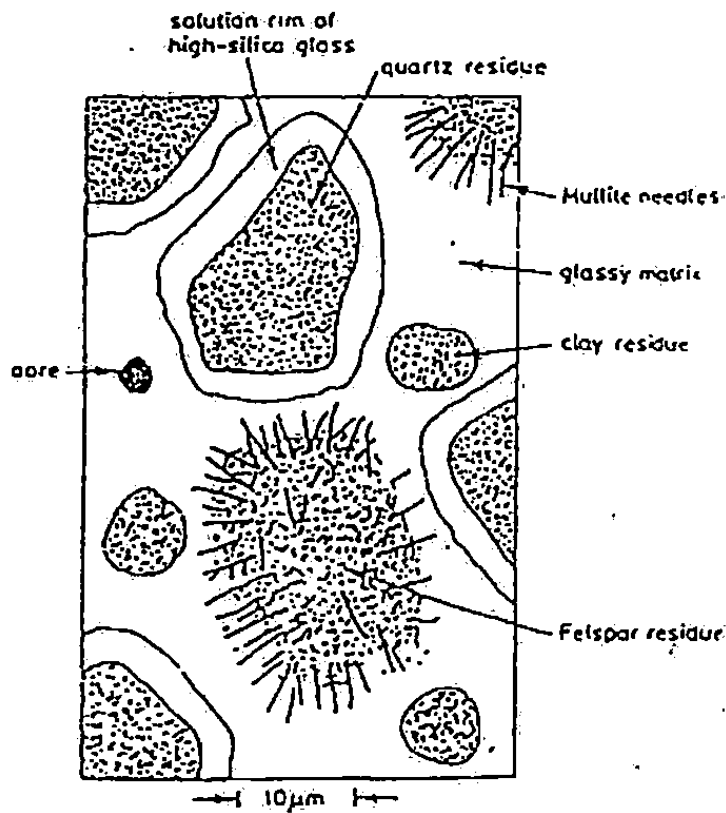
Gambar 2.1. Penampang melintang isolator yang menunjukkan bagian-bagian isolator

2.4 Material Isolasi

Bahan dielektrik yang banyak digunakan dalam pembuatan isolator adalah keramik, keramik terbentuk oleh silicon, yang merupakan atom bervalensi 4 (*Arismunandar A, teknik tegangan tinggi, 2001*), yang mempunyai kemampuan besar dalam membentuk struktur baru. Kombinasi silicon-oksigen dengan *kristaline* atau *quartz* pada suhu tertentu akan membentuk struktur baru seperti *silicate* atau *glassiy matrix*. Dengan menambahkan unsur-unsur tertentu pada *silicate* atau *glassiy matrix*, akan didapatkan bahan dielektrik gelas dan porselin.

Bahan dielektrik keramik mempunyai kelebihan dari bahan-bahan yang lain, keramik mempunyai titik leleh dan titik lebur yang tinggi, sehingga isolator keramik dapat dipersiapkan pada keadaan tingkat suhu

Disamping itu keramik juga mempunyai kuat mekanis yang besar, sehingga mampu menahan beban mekanis pengahantar yang panjang. Kelebihan lain adalah struktur atom bahan keramik yang rapat karena kuatnya ikatan antara atom-atom silicon dengan oksigen. Hal ini yang menyebabkan keramik tidak mudah terkontaminasi oleh unsur lain, akan tetapi keramik juga mempunyai kelemahan yaitu sifat permukaannya yang kedap air. Ini menyebabkan permukaan keramik mudah basah dan terkena polusi, sehingga permukaan isolator menjadi konduktif.



Gambar 2.2. diagram struktur bahan porselin.

2.4.1. Sifat Bahan Porselin

Porselin adalah bahan isolasi kelompok keramik yang sangat penting

dan luas penerapannya. Istilah bahan keramik yang lebih di kenal

untuk semua bahan anorganik yang di bakar dengan pembakaran pada suhu tinggi dan bahan asli berubah substansinya (*Malik NH, Electrical Insulation in power System, 1997*).

Bahan dasar penyusunan porselin terdiri dari *clay* (50%), *feldspar* (25%), dan *quartz* (25%). *Clay* (Koalin) Tanah liat primer yang digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan bahan keramik porselin, *Feldspar* bahan yang berfungsi sebagai flux (pelebur) bahan keramik pada suhu tinggi, dapat mengurangi suhu dan penyusutan bahan (*Malik NH, Electrical Insulation in power System, 1997*). Bahan-bahan tersebut diolah dengan cara tertentu sehingga terbentuk porselin padat.

Sifat bahan dielektrik porselin ditentukan oleh proses pengolahannya, proses pengolahan penyekat porselin meliputi pencampuran tanah liat dengan mineral dengan media air, percetakan, pengeringan, pelapisan permukaan (*glassing*), dan pembakaran.

Pada proses pengolahan basah bahan yang harus digunakan adalah tanah liat, hal ini dimaksudkan agar bahan mampu bertahan terhadap perubahan bentuk dasar penyekat dalam ruang bakar. Disamping itu bahan juga harus dapat dimasukkan kedalam cetakan, dan tetap bertahan pada bentuknya hingga kering. Kekuatan bahan ini ditentukan oleh proporsi partikel penyusun campuran.

Disamping itu, pada proses pengolahan basah ini penyusutan bahan akibat pengeringan juga harus diperhitungkan. Pengeringan itu juga harus

dilakukan dengan hati-hati dan perlahan-lahan untuk menghindari pecah dan

didalam bahan porselin, terutama pada penyekat yang besar (tebal). Sesudah proses pembakaran, porselin menjadi padat dan lapisan luar menyatu dengan bahan penyusunnya, dan jumlah lubang pori-pori akan menyusut lapisan gelas.

Isolator porselin yang baik secara mekanis mempunyai kuat dielektrik kira-kira 60 kV/cm, kuat tekan dan kuat tariknya masing-masing 70.000 kg/cm² dan 500 kg/cm².

2.4.1.1 Sifat-sifat Porselin

Sifat porselin adalah sebagai berikut :

1. Massa jenisnya berkisar antara 2,3 hingga 2,5 g/cm³.
2. Koefisien muai panjang (α) $3 \cdot 10^{-6}$ hingga $4,5 \cdot 10^{-6}$ per 0C. Hal ini perlu mendapatkan perhatian jika dilem dengan semen atau diikat dengan logam, karena α semen = $11 \cdot 10^{-6}$ per 0C, α baja = $14 \cdot 10^{-6}$ per 0C.
3. Kekuatan tekan porselin adalah 4000 hingga 6000 kg/cm².
4. Kekuatan tarik 300 hingga 500 kg/cm² untuk yang menggunakan pelapis, 200 hingga 300 kg/cm² yang tanpa pelapis.
5. Kekuatan tekuk 80 hingga 100 kg/cm². Porselin lebih regas daripada kaca.

2.4.1.2 Sifat kelistrikan porselin

Sifat kelistrikan pada porselin antara lain :

1. Tegangan tembus berkisar antara 10 hingga 30 kV/mm.
2. Resistifitas 10^{11} hingga $10^{14} \Omega \text{ cm}$.
3. Permittifitas (ϵ) berkisar antara 6 hingga 7, $\tan \sigma$ 0,015 hingga 0,02.
4. Sudut kerugian dielektrik akan naik jika suhu dinaikkan.

Penggunaan isolator pada tegangan tinggi, yang juga harus menjadikan pertimbangan adalah tegangan pelepasan (*discharge-voltage*). Tegangan pelepasan adalah tegangan yang dikenakan pada isolator yang menyebabkan mengalirnya arus listrik melalui permukaan di antara elektroda-elektroda. Dalam banyak kasus, pelepasan ini menyebabkan lewat denyar (*flashover*) pada permukaan isolator. Lewat denyar (*flashover*) ini dapat terjadi pada keadaan kering maupun basah (curah hujan 4,5 hingga 5,5 mm/menit).

Pada pengujian lewat denyar (*flashover*) dilaboratorium kondisi ini dapat diciptakan, untuk mengetahui kelayakan suatu isolator digunakan dilapangan. Isolator gantung atau isolator tarik pada tegangan tinggi (bentuknya seperti cakram) pada bagian bawahnya dibuat berlekuk-lekuk agar air hujan tidak merambat melaluinya. Banyak isolator gantung atau isolator tarik tergantung besarnya tegangan yang diisolasi.

2.4.1.3 Sifat Mekanis Bahan Porselin

Secara mekanis, porselin cukup kuat digunakan sebagai penyekat SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi). Pada table 2.1. akan dilihat sifat mekanis dari bahan porselin dan gelas. Akan tetapi kekuatan mekanis

penyekat juga ditentukan oleh bagian-bagian yang lain, yaitu fitting logam dan semen pengisinya.

Table 2.1. Sifat mekanis bahan porselin dan gelas

Property glass	Siliceous		Aluminous		Taughened
Porcelain	Porcelain		Alkali lime silica		
Unglazed/glazed	U	G	U	G	
Density (g/cm ³)					
Bulk	2.26-2.50		2.60-3.25		2.30-2.60
True without pores	2.42-2.50		2.78-3.47		-
Strength					
Flexural	42-90	56-120	100-140	120-170	200-250
Tensile	21-42	28-56	50-70	60-80	100-120
Compressive	280-450	380-690	400-600	500-700	700
Fracture					
Impact energy (j)	2.0-3.0		2.5-4.0		5.0-6.0
Modulus					
Elastic, tensile (Gpa)	55-80		800-120		60-70
Expansibility					
	3.5-5.5		4.6-6.0		8.0-9.5
Thermal conductivity (W/m.K)	1.0-2.5		2.0-2.50		0.5-0.9
Specific heat	0.46-0.72		0.11-0.13		0.5-0.67

2.4.1.4 Sifat Listrik Bahan Porselin

Sifat-sifat listrik dari bahan porselin sangat cukup baik digunakan sebagai bahan isolator gantung. di bawah ini adalah sifat dari bahan listrik

Table 2.2. sifat elektris bahan porselin dan gelas.

Property	Unit	Siliceous Porcelain	Aluminous Porcelain	Taughened glass Alkali lime silica
Permittivity				
(50-60 Hz, 20 °C)	Air = 1	5,0-6,5	6,0-7,5	7,3-7,5
(1 MHz, 20 °C)	Air = 1	5,0-6,6	5,0-6,5	7,3-7,6
Loss tangent				
(50-60 Hz, 20 °C)	X 10	10,0-25,0	12,0-30,0	15,0-60,0
(1 MHz, 20 °C)	X 10	5,0-12,0	5,0-12,0	5,0-12,0
Puncture strenght				
(50-60 Hz, 20 °C)	kV/mm	10,0-20,0	10,0-20,0	>25,0
Impulse puncture strenght				
(% μ 5)	kV/mm	40,0-50,0	40,0-50,0	170,0-220,0
l = Volume resistivity				
20 °C	Ω cm	10^{12}	10^{12}	10^{12}
		10^6		10^5 - 10^6
300 °C	Ω cm		10^{11}	
T1 = temperatur for				
$l = 10^9 \Omega$ cm	°C	280-340	830-1070	270-400
values fall rapidly with increasing per cent Na				

2.4.2. Sifat Bahan Gelas

Gelas adalah salah satu produk industri kimia yang paling akrab dengan kehidupan kita sehari-hari. Namun tidak banyak yang kita ketahui mengenai gelas tersebut.

Dipandang dari segi fisika gelas merupakan zat cair yang sangat dingin. Disebut demikian karena struktur partikel-partikel penyusunnya

yang saling bericubhan seperti dalam zat cair namun dia sendiri berwujud

padat. Ini terjadi akibat proses pendinginan (*cooling*) yang sangat cepat, sehingga partikel-partikel silika tidak sempat menyusun diri secara teratur.

Dari segi kimia, gelas adalah gabungan dari berbagai oksida anorganik yang tidak mudah menguap, yang dihasilkan dari dekomposisi dan peleburan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir serta berbagai penyusun lainnya. Gelas memiliki sifat-sifat yang khas dibanding dengan golongan keramik lainnya. Kekhasan sifat-sifat gelas ini terutama dipengaruhi oleh keunikan silika (SiO_2) dan proses pembentukannya.

Proses pengolahan gelas menjadi isolator gantung meliputi pencampuran bahan, peleburan, pembentukan, pendinginan, dan pemasangan fitting logam.

Bahan baku penyusunan gelas sebagai bahan isolator gantung adalah *silica* (57%), *stone* (9%), *dotornite* (11%), *felsfar* (4%), *soda ash* (13%), dan *sodium sulphate* (6%). Bahan-bahan tersebut dicampur dan dilebur pada suhu yang berkisar antara 1300 °C hingga 1500 °C dalam jangka waktu 20 hingga 70 jam. Kenaikan suhu dari suhu normal hingga suhu di atas adalah perlahan-lahan.

Hasil pengolahan sangat dipengaruhi oleh proses pendinginannya, pendinginan harus dilakukan dengan cara tertentu tidak boleh terlalu cepat. Pendinginan yang terlalu cepat akan mengakibatkan terbentuknya pori-pori atau keretakan yang mengurangi kekuatan mekanis maupun kekuatan listrik bahan. Untuk menutup lubang-lubang ini digunakan bahan yang disebut *faldner*. *Faldner* selama pembakaran akan meleleh sehingga

mengisi lubang-lubang kecil yang terjadi tersebut, sekaligus berfungsi sebagai bahan penguat.

2.4.2.2 Sifat Mekanis Bahan Gelas

Bahan gelas mempunyai kuat regang yang lebih tinggi dari bahan porselin, kekuatan regang bahan gelas dapat mencapai 100 - 200 Mpa. Jika dicampur dengan *soda lime silicate glass* yang mengandung *potassium*, *barium*, dan *alluminium*. Sedangkan kekuatan regang bahan porselin hanya 20 - 70 Mpa (tanpa lapisan gelas pada permukaannya) dan 30 - 80 Mpa (dengan lapisan gelas pada permukaannya).

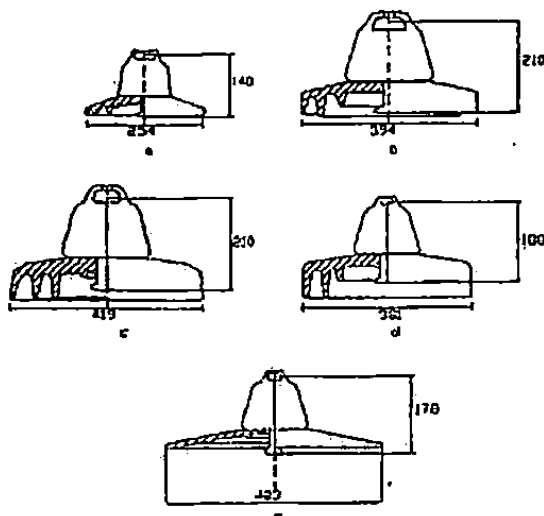
2.4.2.3 Sifat Elektris Bahan Gelas

Sifat-sifat elektrik dari gelas dipengaruhi oleh komposisi dari kaca itu sendiri. Gelas yang digunakan untuk teknik listrik pada suhu normal diperlukan syarat-syarat antara lain : resistifitas berkisar antara 10⁸ hingga 10¹⁷ Ω-cm, permitivitas relatif ϵ_r berkisar antara 3,8 hingga 16,2, kerugian sudut dielektriknya 0,003 hingga 0,01, tegangan break-down 25 hingga 50 kV/mm.

Sifat elektrik bahan gelas dapat dilihat pada table 2.2. diatas. Terlihat bahwa bahan gelas juga cukup baik digunakan sebagai bahan isolator

2.5 Pengaruh Bentuk Pada Kinerja Isolator Gantung 150 kV

Bentuk isolator gantung 150 kV akan mempengaruhi kinerjanya, baik terhadap sifat mekanis maupun sifat listrik (*Arismunandar. A, Kuwahara. S, teknik tenaga listrik jilid II, 2004*).



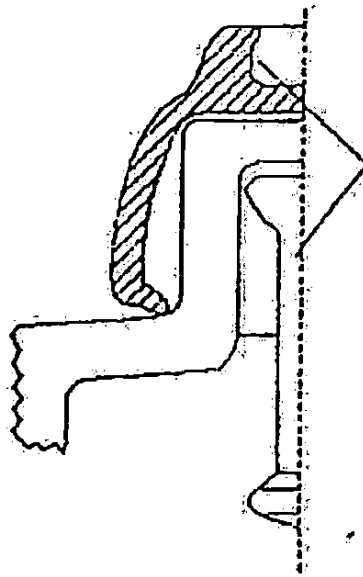
Gambar 2.3. Berbagai bentuk isolator gantung 150 kV

2.5.1 Desain Mekanis Fitting Isolator

Desain fitting logam untuk isolator gantung 150 kV didasarkan pada arah dan distribusi tekanan beban. Tekanan beban diubah menjadi tekanan pada permukaan kerucut, yang selanjutnya diteruskan pada puncak pin dan sekeliling lingkaran cap, selanjutnya beban tersebut diteruskan ke semen perekat.

Desain tersebut dimaksudkan untuk mengikuti gerakan pergeseran antara cap dan pin. Gerakan ini dapat terjadi akibat pengaruh angin yang menyebabkan fluktuasi beban mekanis pada isolator, beban mekanis yang

berlebihan atau fluktuasi yang terlalu besar dapat mengakibatkan kerusakan terjadi lebih dahulu pada fitting logam dari pada kerusakan isolator.



Gambar 2.4. Desain fitting logam isolator gantung 150 kV

2.6 Kontaminasi Pada Isolator Gantung 150 kV

Kontaminasi pada isolator gantung akan mengakibatkan menurunnya kemampuan mekanis maupun listrik isolator tersebut (*looms; PPE PT.PLN-TE UGM*). Kontaminasi ini pada umumnya diakibatkan oleh bahan-bahan yang terbawa oleh angin, kadar kontaminasi pada permukaan isolator dipengaruhi oleh bentuk permukaan isolator gantung.

2.6.1 Proses Kontaminasi

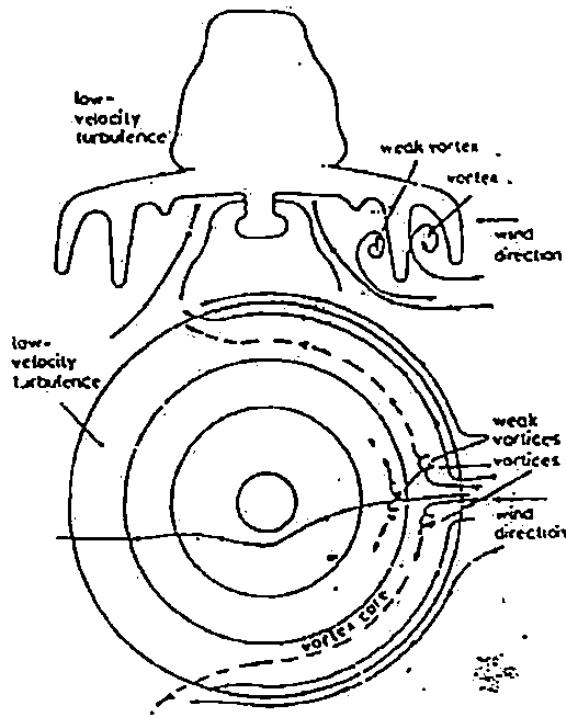
Proses kontaminasi permukaan isolator gantung oleh bahan-bahan yang terbawa oleh angin dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu gaya gravitasi, gaya tarik partikel bermuatan, penguapan cairan yang menempel pada permukaan, serta penangkapan gerakan udara yang mengandung partikel-partikel yang terkontaminasi. Penangkapan partikel yang terkontaminasi dari udara merupakan penyebab utama terjadinya kontaminasi pada permukaan isolator.

Jumlah partikel dari udara yang ditangkap oleh permukaan isolator gantung tergantung pada bentuk isolator, ukuran isolator, sifat partikel, dan kecepatan aliran udara. Sifat permukaan isolator gantung sangat memungkinkan untuk menghentikan aliran udara, sehingga partikel-partikel penyebab kontaminasi tertangkap.

Kesalahan konstruksi permukaan isolator gantung 150 kV dapat mengakibatkan penimbunan partikel kontaminasi dalam jumlah besar. Hal ini dapat diatasi dengan cara membuat bentuk-bentuk permukaan isolator gantung yang memungkinkan terjadinya pusaran pada permukaan yang bias menghambat aliran udara. Pusaran udara yang terjadi secara alami akan mengurangi jumlah partikel yang tertangkap.

Disamping memperhitungkan efek penangkapan partikel, desain permukaan isolator juga harus mempertimbangkan efek pencucian oleh air hujan. Desain yang tetap akan memungkinkan partikel-partikel kontaminasi akan hanyut terbawa aliran air hujan, air hujan itu sendiri harus segera

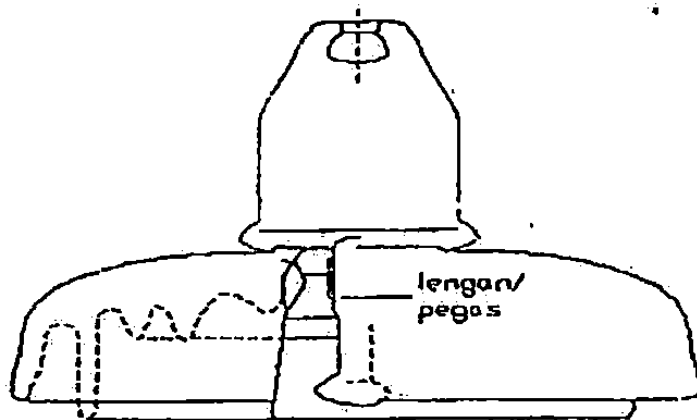
mengalir dan permukaan isolator harus segera kering kembali, karena permukaan isolator yang basah akan menurunkan kemampuan isolator tersebut menahan tegangan.



Gambar 2.5. Diagram aliran udara pada isolator gantung 150 kV

Kemungkinan kontaminasi lain adalah oleh partikel-partikel bermuatan listrik. Berbagai kerusakan yang mungkin terjadi pada isolator adalah rusaknya kepala piring isolator, korosi pada pin, tembus akibat petir, atau kerusakan pada penyangga (*Artificial Pollution Test on High Voltage Insulator to be Used on AC System, 2nd Edition, 1991*). Kerusakan pada penyangga dapat terjadi karena beban mekanis yang berlebihan. Hal ini

dapat diatasi dengan melengkapi fitting logam dengan pelindung berpegas seperti terlihat pada gambar 2.6.



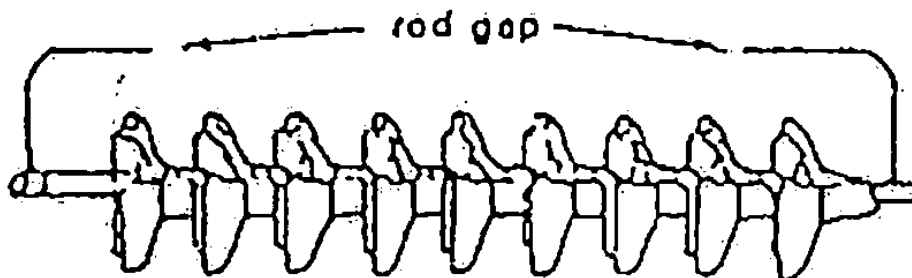
Gambar 2.6. Fitting logam berpegas pada isolator gantung 150 kV

Kerusakan dapat juga berawal dari kerusakan semen yang diakibatkan oleh kontaminasi garam (*Nugraha.B.B, skripsi UGM, 1999*). Ion-ion kontaminasi ini dapat mempercepat kerapuhan pada semen, selanjutnya akan bereaksi dengan timah galvanis. Reaksi garam, timah dan sulfur ini akan mengakibatkan korosi.

Dalam operasinya isolator gantung juga mengalami perubahan suhu yang cukup besar. Keadaan ini dapat terjadi karena perbedaan suhu siang dan malam atau karena panas yang ditimbulkan oleh lewat denyar (*flashover*) (*Bradwell A, Electrical Insulator, London, 1983*). Perubahan suhu akan mempengaruhi sifat mekanis bagian-bagian isolator. Perubahan watak masing-masing bagian isolator akan mengakibatkan terjadinya

2.7 Perlengkapan Isolator Gantung 150 kV

Dalam operasinya isolator gantung dilengkapi dengan sela batang (*rod gap*), untuk menghindari terjadinya lewat denyar (*flashover*) pada permukaan isolator gantung tersebut (*Arismunandar. A, Teknik Tenaga Listrik jilid II, 2004*). Hal ini dimaksudkan untuk memperpanjang umur isolator, dengan adanya sela batang (*rod gap*) ini diharapkan apabila terjadi gangguan tegangan lebih. Lewat denyar (*flashover*) terjadi pada *rod gap* tersebut. Pada gambar 2.7. menunjukkan isolator gantung dengan *rod gap*-nya.



Gambar 2.7. isolator gantung 150 kV dengan *rod gap*-nya.

Jarak sela batang diatur supaya bias meloncatkan tegangan sebesar 20% dibawah tegangan lewat denyar (*flashover*) isolator gantung yang digunakan. Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) ini diketahui dari pengujian, baik pengujian dengan tegangan AC (frekuensi 50 Hz), tegangan DC maupun tegangan impuls standar (1/10 mikrodetik)

2.8 Pemburukan Isolator

Seiring dengan lama penggunaan isolator dalam jaringan listrik maka sering kali terjadi penurunan kualitas isolasi dari isolator, hal ini disebut pemburukan isolator (*Arismunandar. A, Teknik Tegangan Tinggi, 2001*). Penyebab dari pemburukan isolator ini antara lain karena pengembangan kimiawi dan pengembangan pembekuan dari air hujan. Perbedaan pengembangan karena panas dibeberapa bagian isolator, panas karena arus bocor, dan berkaratnya pasangan logam.

Cara untuk mencegah pemburukan isolator adalah sebagai berikut :

1. Meningkatkan kuat mekanis dari bahan porselin.
2. Membatasi pengembangan secara kimiawi dari bagian bagian air hujan.

2.9 Pemeliharaan Isolator

Dalam keadaan tertentu masalah polusi tidak dapat diatasi secara ekonomis dengan pemelihan isolator yang baik (*Hampton B. F, Flashover Mechanism of polluted Insulation, Vol. III, No. 5, may 1964*). Kejadian ini misalnya terjadi didaerah yang terkontaminasi berat, curah hujan tahunan yang rendah, daerah industri dengan tingkat polusi yang berat, maka untuk daerah daerah seperti itu diperlukan pemeliharaan isolator

Tabel 2.3 Tingkat polusi dan lingkungannya (IEC-815, 1986)

Tingkat Polusi	Contoh Ciri Lingkungan yang Khas
I. Ringan	<ul style="list-style-type: none"> • Kawasan tanpa industri dan dengan kepadatan rumah rendah yang dilengkapi dengan sarana pembakaran. • Kawasan dengan kepadatan industri rendah atau kepadatan rumah tetapi sering terkena angin dan hujan. • Kawasan pertanian.¹⁾ • Kawasan pegunungan . Kawasan ini harus terletak sedikitnya 10 km sampai 20 km dari laut setara kawasan terbuka bagi hembusan angin laut langsung.²⁾
II. Sedang	<ul style="list-style-type: none"> • Kawasan dengan industri dengan tidak secara khusus menghasilkan asap polusi dan/atau dengan kepadatan rumah sedang yang dilengkapi saran pembakaran. • Kawasan dengan kepadatan rumah tinggi dan/atau kepadatan industri tinggi tetapi sering terkena angin atau hujan. • Kawasan terbuka bagi angin dari laut tetapi tidak terlalu dekat dengan pantai (paling sedikit berjarak beberapa kilometer).²⁾
III. Berat	<ul style="list-style-type: none"> • Kawasan dengan kepadatan industri tinggi dan pinggiran kota besar dengan kepadatan sarana pembakaran tinggi penghasil polusi. • Kawasan dekat laut atau dalam setiap keadaan terbuka bagi hembusan angin yang relatif kencang dari laut.²⁾
IV. Sangat Berat	<ul style="list-style-type: none"> • Kawasan yang umumnya cukupan, terkena debu konduktip, dan asap industri yang khususnya menghasilkan endapan konduktif yang tebal. • Kawasan yang umumnya luasnya cukup sangat dekat dengan pantai dan terbuka bagi semburan air laut atau hembusan angin yang sangat kencang dan terpolusi dari laut. • Kawasan padang pasir, yang ditandai dengan tidak adanya hujan dengan jangka waktu lama, terbuka bagi angin kencang yang membawa pasir dan garam yang terkena kondensasi yang tetap.

- 1) Penggunaan pupuk dan penyemprotan, atau pembakaran sisa panen dapat mempertinggi tingkat polusi karena hembusan angin.
- 2) Jarak dari pantai tergantung pada topografi kawasan pantai dan tergantung pada kondisi angin yang ekstrim.

Tindakan pemeliharaan yang bisa dilakukan antara lain adalah dengan satu atau lebih dari yang tercantum dibawah ini :

1. Pembersihan kering secara periodik pada instalasi yang bertegangan maupun yang tidak bertegangan.
2. Pelapisan dengan kompond gemuk isolasi secara berkala.
3. Pengecukan dalam keadaan bertegangan maupun tidak

2.9.1 Pelapisan Isolator

Senyawa yang digunakan untuk melapisi isolator sebagian besar adalah produk silikon atau hidrokarbon. Ketebalan lapisan gemuk yang dioleskan tergantung pada jenis gemuk isolator dan tingkat polusi (*Hampton B. F, Flashover Mechanism of polluted Insulation*). Biasanya untuk senyawa silikon kira-kira 1 mm dan untuk senyawa hidrokarbon dapat mencapai beberapa milimeter.

Jenis penerapan ini mahal karena memerlukan pemeliharaan yang teratur untuk menghilangkan dan melapisi kembali. Isolator yang dilapisi akan kehilangan sebagian besar sifat-sifat pembersihan sendiri karena hujan atau angin dan dalam keadaan terpolusi berat tertentu gemuk isolasi akan dapat merusak keramik atau gelas dari isolator.

Frekuensi pembersihan dan pengolesan ulang bahan pelapis berkisar dari beberapa bulan sampai beberapa tahun, tergantung pada tingkat kontaminasi kondisi cuaca. Optimasi operasi ini akan tercapai melalui pengecekan kondisi gemuk isolasi dengan memperhitungkan laju akumulasi kandungan polusi dari gemuk isolasi dan penuaan gemuk isolasi itu sendiri.

2.9.2 Pencucian Isolator

Pencucian dengan air bertekanan tinggi telah terbukti sebagai metode yang paling ekonomis untuk membuang zat-zat pengotor dari permukaan isolator yang berupa debu, tanah, garam dan selaput asam yang tidak melekat kuat pada isolator (*SPLN 10-3B, Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan dengan Pedoman Pemeliharaan Isolator PT. PLN (persero)*

Jakarta 1993). Di beberapa daerah pencucian alami oleh air hujan cukup untuk menghalangi terjadinya gagal tegangan pada isolator yang terkontaminasi akan tetapi untuk daerah yang curah hujannya rendah harus dibantu dengan pencucian buatan.

Frekuensi pencucian berbeda-beda tergantung pada tingkat pengotoran, kondisi cuaca, dan terutama bentuk dari isolator. Ketika pencucian sering dilakukan, maka kadang-kadang lebih ekonomis untuk memasang suatu sistem pipa pada menara, atau sistem pipa penyemprot (*spray nozzle*) yang permanen untuk memudahkan pencucian isolator.

2.9.2.1 Menyeka isolator dengan bantuan tangan

Pembersihan isolator dengan penyekaan ini adalah lebih teliti dan bagus, tetapi membosankan, menghabiskan waktu, dan proses yang mahal. Penyekaan biasanya diterapkan ketika pencucian dengan bertekanan tinggi sukar diperoleh, berdekatan dengan peralatan yang bertegangan, atau karena kuatnya kotoran yang menempel pada isolator.

Bahan yang diperlukan untuk penyekaan berbeda-beda tergantung pada zat yang menempel pada isolator tersebut. Isolator dengan endapan kotoran yang lunak dan longgar dapat dibersihkan dengan memakai kain lembut yang dibasahi. Penambahan peralatan seperti kain yang dibasahi dengan lilin, sikat, wol baja, atau yang sejenis dengan alat-alat pembersih lainnya mungkin diperlukan bagi isolator jika endapan yang menempel

2.9.2.2 Pencucian melalui hembusan udara dengan medium penggosok

Pencucian isolator yang bertegangan atau tidak bertegangan melalui hembusan udara dan medium penggosok adalah sangat efektif, efisien dan ekonomis. Tujuannya adalah untuk membuang endapan atau lapisan lemak yang melekat kuat pada permukaan isolator. Bahan-bahan penggosok yang sering digunakan adalah ampas tongkol jagung, bubuk batu gamping. Bahan-bahan lain seperti kulit kenari, kulit kemiri, atau tanah liat kadang juga dipakai. Ampas tongkol jagung biasanya digunakan untuk melepaskan lemak silikon yang mengeras atau zat-zat pengotor yang lunak. Bubuk batu gamping secara umum untuk melepaskan zat-zat pengotor yang keras seperti semen. Kedua bahan penggosok ini cukup memadai untuk melakukan proses pembersihan karena tidak menggores permukaan isolator.

2.10 Pengaruh Kelembaban Udara Pada Tegangan Gagal

Setiap bahan isolasi mempunyai kemampuan menahan tegangan yang terbatas. Keterbatasan kemampuan menahan tegangan ini karena bahan isolasi bukanlah dielektrik sempurna. Molekul-molekul pada bahan tersebut tidak terikat erat, tetapi masih terdapat elektron-elektron yang dapat bergerak bebas atau terlepas dari ikatan yang harus ditahan (*Arismunandar, A, Teknik Tegangan Tinggi, 2001*). Tegangan yang besar akan menghasilkan gaya medan listrik yang memudahkan terjadinya lompatan partikel muatan, sehingga gerakan elektron bebas menjadi lebih aktif. Gerakan elektron-elektron ini menimbulkan arus yang disebut arus bocor (*leakage current*), yaitu arus yang mengalir melalui media dielektrik. Arus bocor ini terjadi

jika tegangan yang harus ditahan oleh penyekat melebihi kemampuannya menahan tegangan. Dalam gradien tegangan yang tinggi, hal ini dapat mengakibatkan lewat denyar (*flashover*).

Kegagalan tegangan yang berupa lewat denyar (*flashover*) dapat terjadi pada gas atau permukaan penyekat padat. Lewat denyar (*flashover*) pada gas terjadi jika tegangan yang harus ditahan oleh gas melebihi kemampuan gas, sedangkan lewat denyar (*flashover*) pada permukaan penyekat terjadi jika tegangan yang harus ditahan oleh permukaan penyekat melebihi kemampuan permukaan menahan tegangan.

Kemampuan permukaan penyekat menahan tegangan ditentukan oleh resistansi permukaan bahan penyekat tersebut. Besarnya resistansi permukaan bahan, selain tergantung jenis bahan, dipengaruhi oleh beberapa factor, seperti adanya kontaminasi pada permukaan bahan, kelembaban udara, tekanan dan suhu (*Looms J. S. T, Insulator for High Voltage, London 1988*).

2.11 Watak Lewat Denyar (*flashover*) Dalam Medan Seragam

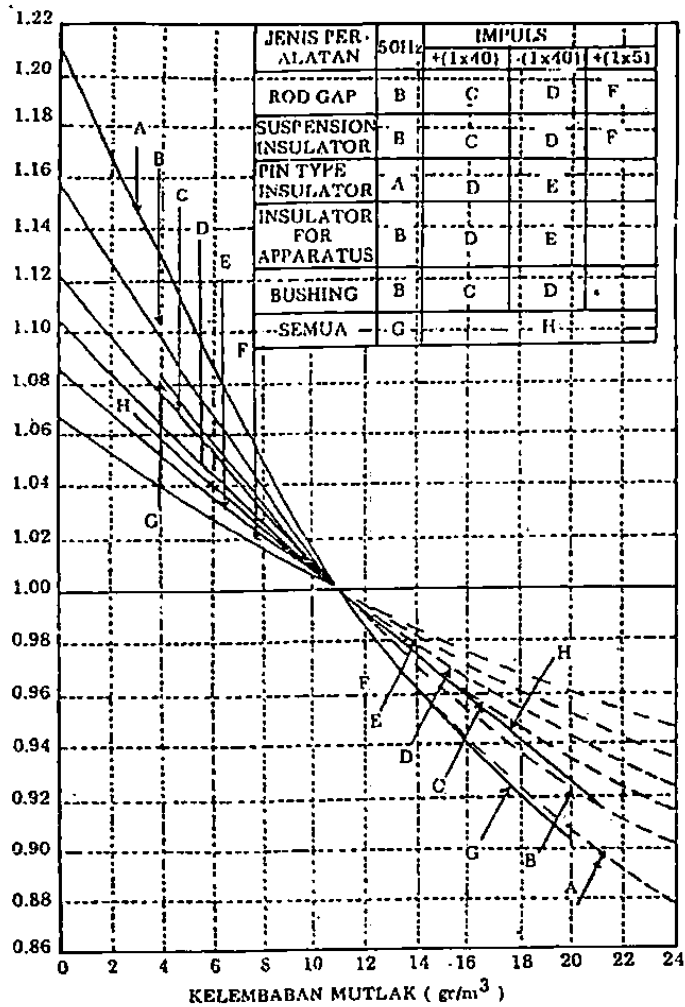
Dalam mekanisme kegagalan tegangan, terdapat suatu keadaan penting, yaitu kenaikan arus yang menimbulkan percikan. Jika hamburan terus terjadi, ionisasi akan terus meningkat sehingga terjadilah kegagalan

Pada mekanisme *streamer*, muatan ruang ini akan menaikkan intensitas medan listrik (karena melipat gandakan muatan), sehingga terbentuk suatu kanal penghantar.

Kegagalan tegangan pada medan seragam dengan tekanan udara normal mengikuti mekanisme *Townsend* (sampai 8.000 mm Hg-cm), sedangkan pada tekanan yang lebih tinggi akan mengikuti mekanisme *streamer*. Disamping itu, pada tekanan udara yang lebih tinggi, kegagalan terjadi lebih cepat.

Besarnya tegangan gagal pada medan seragam juga dipengaruhi oleh kondisi udara. Tegangan gagal akan berkurang dengan penurunan tekanan dan kenaikan suhu. Secara matematis, suhu dan tekanan mempengaruhi tegangan gagal sebagai kepadatan udara relatif (*relative air density*) (Arismunandar. A, *Teknik Tegangan Tinggi*, 2001).

Kenaikan kelembaban udara ini pada umumnya akan menaikkan tegangan gagal. Kenaikkan tegangan gagal ini disebabkan oleh adanya uap air dalam udara yang merupakan gas elektronegatif mengakibatkan jumlah ionisasi partikel berkurang, sehingga tegangan gagal naik



Gambar 2.8 Faktor koreksi kelembaban udara menurut standar IFC (International Electrotechnical Commission).

2.12 Watak Lewat Denyar (*flashover*) Pada Medan Tak Seragam

Kegagalan tegangan pada medan tak seragam berbeda dengan medan seragam dalam beberapa hal. Pada medan tak seragam terjadi pengikatan elektron pada daerah yang intensitas medannya lemah, sedangkan di daerah yang intensitas medannya kuat terjadi penguraian. Disamping itu pembentukan muatan ruang akan memperlambat lucutan muatan listrik pada medan seragam, sedangkan pada medan tak seragam hal ini justru mempercepat proses terjadinya kegagalan. Perbedaan lain adalah bahwa

pada medan tak seragam, kegagalan selalu diawali oleh lucutan pendahuluan (*preliminary discharge*) pada tempat-tempat yang mempunyai intensitas medan paling kuat.

2.12.1 Lewat Denyar (*flashover*) Pada permukaan Isolator

Kegagalan tegangan pada penyekat SUTT (saluran udara tegangan tinggi). Dapat dibedakan menjadi dua macam., yaitu kegagalan tegangan tembus (*puncture*) dan tegangan permukaan yang berupa lewat denyar (*flashover*). Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) selalu lebih rendah dari pada tegangan gagal tembus. Tegangan gagal permukaan ditentukan oleh resistansi permukaan bahan, keadaan permukaan penyekat (*Kind. D, Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi, ITB Bandung, 1993*).

Isolator (penyekat) yang mengalami tegangan tembus dapat mengalami kerusakan total (hancur). Isolator yang tidak hancur oleh tegangan tenibus harus diuji kembali. Jika watak elektrisnya sudah berubah, maka penyekat itu harus diganti dengan yang baru. Isolator yang mengalami lewat denyar (*flashover*) juga dapat rusak oleh papas bujur api yang terjadi pada permukaannya. Jika sesudah lewat denyar (*flashover*) tegangan kembali normal, berarti penyekat itu tidak rusak.

Watak penyekat SUTT ditunjukkan oleh watak tegangan lompatannya. Besarnya tegangan yang mampu ditahan oleh penyekat SUTT tanna terjadi lewat denyar (*flashover*) didasarkan tiga macam watak yaitu:

- a) watak tegangan lewat denyar (*flashover*) pada frekuensi normal.
- b) Watak tegangan lewat denyar (*flashover*) pada frekuensi normal dan dalam kondisi basah.
- c) Watak tegangan lewat denyar (*flashover*) impuls.

Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) pada frekuensi normal merupakan batas tegangan lebih internal yang mampu ditahan oleh penyekat, sedangkan watak tegangan lewat denyar (*flashover*) impuls menyatakan kemampuan penyekat menahan tegangan lebih akibat surja. Watak lewat denyar (*flashover*) pada frekuensi normal dan dalam keadaan kering merupakan karakteristik utama penyekat yang digunakan didalam ruangan (*Matsuoka R, Ito S, Influence of Non-Soluble Contaminants on Withstand Voltages of Artificially Contaminated Insulator, 8th ISH, Japan 1993*). Watak ini berlaku untuk penyekat dalam keadaan kering dan bersih. Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) ini berbanding terbalik dengan kepadatan udara relatif (persamaan 2.2).

Jika isolator (penyekat) harus menangani watak tegangan lewat denyar (*flashover*) yang lebih tinggi, maka penyekat tersebut dapat dihubung seri, sehingga watak tegangan lewat denyar (*flashover*) meningkat berlipat kali tergantung dari jumlah penyekat yang dipakai

2.12.2 Lewat Denyar (*flashover*) pada permukaan Isolator pada keadaan normal

Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) pada permukaan penyekat SUTT lebih rendah dari pada tegangan lewat denyar (*flashover*) sela udara, yaitu hanya setengahnya atau kurang. Hal ini disebabkan oleh sifat bahan isolasi yang relatif lebih konduktif dari pada udara. Adanya sela redam sekunder diantara elektroda dengan penyekat juga akan mempengaruhi besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*). Jika permitivitas udara lebih rendah dari pada permitivitas penyekat, intensitas medan listrik pada sela udara akan beberapa kali lipat melampaui pada bagian lain. Hasil ionisasi pada bagian ini akan bergerak menuju ke permukaan penyekat dan mengakibatkan terjadinya lucutan. Lucutan inilah yang memulai terjadinya lewat denyar (*flashover*) pada permukaan penyekat.

2.12.3 Lewat Denyar (*flashover*) pada permukaan Isolator pada keadaan kotor dan basah

Isolator pada umumnya digunakan ditempat terbuka, sehingga mudah terpengaruh oleh berbagai perubahan keadaan sekitarnya (*Gorur R. S, Flashover of Contaminated Non Ceramic Outdoor Insulator in a Wet Atmosphere, Vol. 5, No. 6, December 1998*). Perubahan kemampuan isolator menahan tegangan. Hal-hal yang mempengaruhi kemampuan isolator ini antara lain terbentuknya lapisan kontaminasi pada permukaan isolator, dan

basahnya permukaan oleh air atau uap air



Debu yang menempel pada permukaan isolator dalam keadaan kering tidak akan mempengaruhi tegangan lewat denyar (*flashover*). Akan tetapi jika isolator menjadi basah (misalnya oleh air hujan), maka pada permukaan isolator tersebut akan terbentuk lapisan konduktif. Konduktivitas permukaan isolator tersebut akan meningkat berpuluh kali lipat jika pada lapisan tersebut terdapat garam yang larut dalam air. Hujan yang mengenai isolator tidak pernah menghasilkan lapisan yang seragam diseluruh permukaan, sehingga resistansi lapisan juga tidak seragam. Disamping itu bentuk permukaan isolator juga mempengaruhi tebal tipisnya lapisan yang terbentuk (Gambar 2.3).

Arus bocor yang terjadi ketika isolator dikenai tegangan akan mengenai bagian yang konduktif pada permukaan isolator. Arus ini mengakibatkan panas. Bagian permukaan dengan resistansi terbesar akan terjadi bagian yang paling panas. Di tempat ini terjadi pengeringan secara perlahan-lahan, sehingga resistansi naik. Dengan kenaikan resistansi ini, jatuh tegangan pada bagian yang kering tersebut juga bertambah. Akhirnya setelah seluruh air pada permukaan isolator menguap, maka bagian tersebut harus menahan tegangan penuh (*Hampton B. F, Flashover Mechanism of polluted Insulation, Vol. 111, No. 5, may 1964*). Pada saat ini intensitas medan menjadi sangat besar, dan terjadilah lucutan muatan pada bagian tersebut. Pada saat ini bagian dengan resistansi terbesar ini terhubung secara paralel dengan bagian yang lain (yang juga sudah kering), sehingga resistansi menjadi kecil. Arus bocor menjadi semakin besar dan mengalir ke

seluruh lapisan menjadi kecil. Arus bocor menjadi semakin besar dan mengalir keseluruhan lapisan pada permukaan penyekat. Lucutan selanjutnya terjadi di daerah yang lebih luas, dan akhirnya terjadilah lewat denyar (*flashover*) pada permukaan penyekat.

Dalam keadaan hujan, lapisan air yang hilang (menguap) akan di gantikan dengan lapisan yang baru. Hal ini mengakibatkan lewat denyar (*flashover*) terjadi beberapa kali, yaitu setiap puncak arus bocor terjadi. Dalam kondisi udara berkabut, proses basah kembalinya permukaan ini lebih lama, sehingga selang waktu lompatan juga lebih panjang.

Tegangan lewat denyar (*flashover*) dalam keadaan basah ini harus diperhatikan dalam pemilihan jenis penyekat yang akan dipergunakan pada instalasi eksternal. Besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*) basah ini di pengaruhi oleh intensitas air hujan, arah jatuhnya air, dan konduktivitas air hujan. Di beberapa negara sudah ditentukan kondisi hujan standar. Di Jepang dan Unisoviet misalnya, intensitas air hujan adalah 3 mm permenit, resistans spesifik 10.000 ohm per cm (pada suhu 20 °C), dan sudut kemiringan 45 °.

2.12.4 Lewat Denyar (*flashover*) pada permukaan isolator dan pengaruh kelembaban udara

Pada kondisi normal (kelembaban udara relatif rendah), sebenarnya permukaan penyekat tidak kering sama sekali. Sifat kedap air bahan isolasi mengakibatkan permukaan selalu mengandung air yang membatasi

resistansi permukaannya. Air mengandung ion-ion yang konduktif, sehingga ion-ion tersebut akan bergerak menuju elektroda karena pengaruh medan listrik. Gerakan ion-ion tersebut semula pelan, selanjutnya muatan-muatan yang menempel pada elektroda akan bergerak menuju ion-ion tersebut. Hal ini mengakibatkan terjadinya akumulasi muatan disekeliling elektroda yang menyebabkan melemahnya medan listrik didaerah tersebut. Distribusi intensitas medan pada permukaan terjadi tidak seragam, sehingga tegangan lewat denyar (*flashover*) menjadi lebih tinggi. Jika kecepatan gerak ion-ion menjadi lebih rendah, maka akumulasi muatan pada elektroda juga menjadi lebih sedikit. Permukaan penyekat yang basah akan mempengaruhi besarnya tegangan lewat denyar (*flashover*). Bahan yang lebih kedap air, dalam keadaan lembab mempunyai tegangan lewat denyar (*flashover*) yang lebih rendah.

Uap air dalam udara menyebabkan listrik menjadi tidak seragam. Pada medan listrik tidak seragam ini, lewat denyar (*flashover*) terjadi setelah diawali oleh lucutan parsial pada bagian permukaan yang intensitas medan listriknya paling besar (*Hampton B. F, Flashover Mechanism of polluted Insulation, Vol. III, No. 5, may 1964*). Pada udara yang lembab, lucutan ini akan di hambat oleh molekul-molekul air. Mekanisme penghambatan lucutan oleh molekul-molekul air ini ada dua macam. Mekanisme pertama adalah pengurangan jumlah elektron bebas, karena sebagian di tahan dan dijadikan ion negatif yang stabil. Mekanisme kedua adalah penyerapan ion-ion oleh uap air, sehingga lucutan lebih sulit terjadi

Perubahan udara yang mempengaruhi tegangan lewat denyar (*flashover*) pada permukaan isolator dapat dibagi dalam tiga tingkat kelembaban, sebagai berikut :

1. Pada harga kelembaban yang relatif rendah, tegangan lewat denyar (*flashover*) mengalami kenaikan yang sebanding dengan harga kelembaban udara.
2. Pada harga kelembaban udara relatif antara 60% sampai 70%, tegangan lewat denyar (*flashover*) menurun dengan tajam, hal ini disebabkan karena terjadinya kejenuhan dari uap air dalam udara sehingga terjadi kondensasi. Kondensasi ini menyebabkan permukaan isolator menjadi basah, sehingga menurunkan tegangan lewat denyar (*flashover*).
3. Harga kelembaban yang mendekati 100%, permukaan isolator menjadi basah, sehingga tegangan lewat denyar (*flashover*) pada saat ini sama dengan tegangan lewat denyar (*flashover*) dalam keadaan basah. Pada saat ini tegangan lewat denyar (*flashover*) akan konstan.

2.13 Jenis-Jenis Zat Pengotor

Isolator mempunyai keterbatasan kemampuan dalam menahan tegangan. Molekul-molekul pada isolator tidak terikat dengan sempurna, tetapi masih ada elektron-elektron yang dapat bergerak bebas atau terlepas

dari ikatan akibat tegangan yang harus ditanggung (4) ...

Tegangan Tinggi, 2001). Apabila tegangan yang harus ditahan oleh isolator melebihi kemampuan atau tegangan sesuai kemampuan tetapi permukaan isolator terkontaminasi, maka akan terjadi arus bocor dan dalam tingkat tegangan lebih tinggi menyebabkan lewat denyar (*flashover*) (*IEEE working group on insulator contamination.*).

Zat pengotor yang mempengaruhi terjadinya lewat denyar (*flashover*) pada isolator ini secara umum terdiri dari dua jenis komponen, yaitu komponen yang bersifat konduktif dan komponen yang bersifat lebam (*inert*).

2.13.1 Komponen Konduktif

Komponen yang bersifat konduktif biasanya paling banyak mengandung garam-garam ionik seperti *sodium klorida* (NaCl), *magnesium klorida* (MgCl_2), *sodium sulfat* (Na_2SO_4), dan lain sebagainya. Jika garam-garam ini berada dalam larutan, maka ion-ionnya akan terurai dan akan mempengaruhi tegangan lewat denyar (*flashover*) isolator karena membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator. (*Nugraha. B. B, pengaruh kontaminasi garam terhadap tegangan gagal dan arus bocor pada isolator, skripsi UGM, 1999*).

Tingkat pengotoran yang disebabkan oleh garam-garam ini secara umum diukur berdasarkan istilah kerapatan endapan garam ekuivalen pada isolator *Equivalen Salt Deposit Density* (ESDD) dan dinyatakan dalam satuan mg/cm^2 NaCl . ESDD adalah jumlah ekuivalen NaCl pada permukaan

isolator yang akan memiliki konduktivitas listrik yang sama pada pencairan yang menyeluruh. ESDD ini juga mempertimbangkan daya larut dari zat pengotor dan kecepatan larut dari garam-garam. Pengaruh dari suatu garam yang kecepatan larutnya lambat seperti $MgCl_2$ terhadap besar tegangan lewat denyar (*flashover*) adalah lebih kecil dari pada garam yang mudah larut seperti $NaCl$.

2.13.2 Komponen Lembam

Komponen bersifat lembam (*inert*) dari zat pengotor adalah bagian dari komponen zat padat yang tidak terurai dari ion-ion. Walaupun demikian, komponen lembam ini dapat mengurangi ketahanan listrik dari isolator. Bahan-bahan seperti *silicon dioksida* (SiO_2), tanah liat (*kaolin*, *bentonit*), dan semen *portland* dapat membentuk suatu susunan yang mengikat komponen-komponen konduktif. Susunan mekanis ini secara umum akan mempengaruhi pemeliharaan isolator oleh alam berupa pencucian mekanis permukaan isolator tersebut.

Komponen-komponen ini dapat bersifat menjadi basah air (*hydrophilic*) yang dapat meningkatkan kebasahan permukaan isolator, atau bersifat tidak basah atau kedap air (*hydrophobic*) yang dapat menurunkan tingkat kebasahan isolator. Jenis zat pengotor lembam *hydrophilic* misalnya tanah liat, *silikon dioksida* (SiO_2), dan semen *portland*. Sedangkan komponen *hydrophobic* contohnya adalah lemak dan oli, yang dapat

menyebabkan air bermanik-manik sehingga lapisan konduktif yang terbentuk pada permukaan isolator tidak kontinyu.

2.14 Air Hujan Sebagai Kontaminan Isolator

Air hujan adalah air yang menguap karena panas dan dengan proses kondensasi (perubahan uap air menjadi tetes air yang sangat kecil) membentuk tetes air yang lebih besar kemudian jatuh kembali ke permukaan bumi. Pada waktu berbentuk uap air terjadi proses transportasi (pengangkutan uap air oleh angin menuju daerah tertentu yang akan terjadi hujan). Ketika proses transportasi tersebut uap air tercampur dan melarutkan gas-gas oksigen, nitrogen, karbondioksida, debu, dan senyawa lain. Karena itulah, air hujan juga mengandung debu, bakteri, serta berbagai senyawa yang terdapat dalam udara. Jadi kualitas air hujan juga banyak dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya.

Air hujan diduga akan mengandung lebih banyak gas-gas daripada air tanah, terutama kandungan CO_2 dan O_2 . Air hujan biasanya tidak mengandung garam-garam mineral, zat-zat racun, atau zat yang dapat mengganggu kesehatan. Karena itu hujan yang bersih dapat digunakan sebagai air minum apalagi untuk keperluan mandi. Air hujan termasuk air lunak. Air atmosfer dalam keadaan murni sangat bersih, tetapi sering terjadi pengotoran karena industri debu dan sebagainya (Dana P. Setiawan,

Biasanya hujan memiliki kadar asam pH 6. Hujan di bawah pH 5,6, dianggap hujan asam. Banyak orang menganggap bahwa bau yang dicitum pada saat hujan dianggap wangi atau menyenangkan. Sumber dari bau ini adalah petrichor, minyak yang diproduksi oleh tumbuhan, kemudian diserap oleh batuan dan tanah, dan kemudian dilepas ke udara pada saat hujan. (<http://dwisusilo.com/index.php/iptek/76-hujan>).

2.14.1 Jenis-Jenis Air Hujan

Berdasarkan terjadinya, hujan dibedakan menjadi :

1. Hujan siklonal, yaitu hujan yang terjadi karena udara panas yang naik disertai dengan angin berputar.
2. Hujan zenithal, yaitu hujan yang sering terjadi di daerah sekitar ekuator, akibat pertemuan Angin Pasat Timur Laut dengan Angin Pasat Tenggara. Kemudian angin tersebut naik dan membentuk gumpalan-gumpalan awan di sekitar ekuator yang berakibat awan menjadi jenuh dan turunlah hujan.
3. Hujan orografis, yaitu hujan yang terjadi karena angin yang mengandung uap air yang bergerak horisontal. Angin tersebut naik menuju pegunungan, suhu udara menjadi dingin sehingga terjadi kondensasi. Terjadilah hujan di sekitar pegunungan.
4. Hujan frontal, yaitu hujan yang terjadi apabila massa udara yang dingin bertemu dengan massa udara yang panas. Tempat

lebih berat massa udara dingin lebih berada di bawah. Di sekitar bidang front inilah sering terjadi hujan lebat yang disebut hujan frontal.

5. Hujan muson, yaitu hujan yang terjadi karena Angin Musim (Angin Muson). Penyebab terjadinya Angin Muson adalah karena adanya pergerakan semu tahunan Matahari antara Garis Balik Utara dan Garis Balik Selatan. Di Indonesia, secara teoritis hujan muson terjadi bulan Oktober sampai April. Sementara di kawasan Asia Timur terjadi bulan Mei sampai Agustus.
(<http://www.e-smartschool.com/PNU/002/PNU0020014.asp>.)

2.14.2 Komposisi Air Hujan

Air hujan mengandung suatu zat, dimana zat yang terkandung dalam air hujan bisa berpengaruh pada permukaan isolator dan berangsurangsur membentuk suatu lapisan yang tipis pada permukaan isolator. Macam-macam zat yang terkandung dalam air hujan adalah sebagai berikut :

1. Asam

asam adalah zat yang dalam air dapat menghasilkan ion hidrogen (H^+). Asam akan terionisasi menjadi ion hidrogen dan ion sisa asam yang bermuatan negatif

2. Basa

Basa adalah zat yang dalam air dapat menghasilkan ion hidroksida (OH^-). Ion hidroksida terbentuk karena senyawa hidroksida dapat mengikat satu elektron pada saat dimasukkan ke dalam air. Basa dapat menetralkan asam (H^+) sehingga dihasilkan air (H_2O).

3. Garam

Garam adalah senyawa yang terbentuk dari reaksi asam dan basa. Terdapat beberapa contoh garam, antara lain: NaCl , CaCl_2 , ZnSO_4 , NaNO_2 , dan lain-lain.

Unsur garam yang mencemari suatu isolator sebagian besar berasal dari air hujan. Air hujan dapat mengendapkan lapisan garam di permukaan isolator yang terpasang, lapisan garam ini bersifat konduktif terutama pada keadaan cuaca lembab, berkabut atau pada saat hujan (*sugiyarto, Teguh. Ilmu pengetahuan alam 1, 2008*).

Air hujan juga memiliki komposisi kimia didalamnya seperti PH, daya hantar, Ca^{2+} (kalsium), Mg^{2+} (magnesium), Na^+ (natrium), K^+ (kalium), NH_4^+ (amonia), Cl^- (klorida), SO_4^{2-} (sulphat), NO_3^- (nitrat). (BMKG (*Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*))