

KARAKTERISTIK ISOLATOR POLIMER TEGANGAN TINGGI DI BAWAH PENUAAN TEKANAN IKLIM TROPIS BUATAN YANG DIPERCEPAT

Mustamin¹, Salama Manjang²

Abstrak: Penelitian isolator polimer SIR bertujuan untuk (1) Menganalisis karakteristik arus bocor permukaan dari isolator polimer di bawah pengaruh multi tekanan buatan, (2) Mengetahui faktor-faktor iklim tropis yang dapat mempengaruhi karakteristik arus bocor permukaan dari isolator polimer, (3) Menentukan faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap karakteristik arus bocor permukaan dari isolator polimer, (4) Menentukan perbandingan arus bocor permukaan isolator polimer dengan isolator keramik atau isolator gelas jika digunakan di daerah beriklim tropis. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Tegangan Tinggi UNHAS Makassar, dengan bantuan pembiayaan dari JICA LBE Fund, PT.PLN (persero), dan PT.Freeport. Metode yang digunakan adalah membuat konsep desain konstruksi chamber dan aksesorisnya, mendesain hingga dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan fungsinya. Selanjutnya menentukan sampel isolator yang akan digunakan. Pengujian ini dilaksanakan beberapa tahap dan hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik arus bocor permukaan isolator polimer SIR jauh lebih kecil dan stabil dari pada isolator keramik dan isolator gelas dalam pengujian dengan menerima berbagai tekanan iklim tropis buatan menunjukkan bahwa arus bocor permukaan isolator polimer SIR sangat kecil untuk semua jenis pengaruh iklim tropis dengan perbandingan terkecil terjadi ketika diterpa polusi kabut garam dimana perbandingan rata-rata mencapai 1:3,14:4,26 terhadap isolator keramik dan isolator gelas. Selisih arus bocor terendah rata-rata mencapai 72,03 % terhadap isolator keramik dan 58,21% terhadap isolator gelas.

Kata kunci: Isolator polimer SIR, penuaan, arus bocor.

I. PENDAHULUAN

Salah satu komponen kelistrikan yang memegang peranan penting adalah isolator sebagai peralatan pemisah bagian-bagian yang bertegangan dengan yang tidak bertegangan serta penahan dan penopang kawat saluran. Isolator listrik mulai tegangan menengah, tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi yang dipergunakan pada sistem kelistrikan di Indonesia sampai saat ini adalah isolator berbahan keramik dan gelas. Penggunaan isolator keramik/gelas pada sistem transmisi energi listrik yang cenderung bertegangan semakin tinggi tidak menguntungkan lagi karena rapat massa (*density*) keramik/gelas besar, panjang, mudah pecah dan losisnya semakin besar

¹ Program Pasca Sarjana, Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

sehingga menyebabkan semakin tingginya biaya konstruksi dan pemeliharaan jaringan tenaga listrik.

Saat ini tegangan pada transmisi yang diterapkan di Indonesia adalah 70kV dan 150kV untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), serta untuk Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 kV, sedangkan tegangan distribusi 20 kV. Sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik merupakan urat nadi sektor ketenagalistrikan untuk pengiriman energi listrik dari pusat pembangkit ke pusat-pusat beban, sehingga keandalan sistem transmisi dan distribusi harus mendapat perhatian untuk menjaga kontinuitas pelayanan.

Wilayah Indonesia yang membentang sepanjang garis khatulistiwa terdiri dari 2/3 adalah wilayah lautan. Penduduk didaerah ini sebagian besar bermukim pada dataran rendah dan pesisir pantai. Daerah ini beriklim tropis dengan faktor iklim yang sangat tinggi yaitu lama penyinaran matahari 12 jam, temperatur udara antara 16-35 oC, kelembaban nisbi sekitar 100% pada malam hingga pagi hari, curah hujan cukup tinggi antara 40-500 mm. selain itu, dari publikasi organisasi greenpeace mengatakan bahwa Indonesia merupakan negara yang mengalami polusi tertinggi di dunia. Kondisi lingkungan seperti ini dapat menurunkan kinerja isolator pasangan luar.

Berbagai studi mengungkapkan bahwa pada umumnya kegagalan isolator yang menyebabkan kerugian besar adalah akibat dua aspek yaitu aspek permukaan (surface) yang menyebabkan munculnya arus bocor permukaan dan aspek ruah (bulk) dengan menurunnya sifat dielektrik (ϵ_r dan $\tan \delta$) yang membuat mudahnya isolator pecah (breakdown) akibat sambaran petir atau switching. Aspek ruah isolator berbahan keramik dan gelas stabil terhadap penuaan, tetapi permukaannya mudah dibasahi (wettability) oleh kabut, embun atau hujan karena memiliki energi permukaan yang tinggi. Sifat permukaan isolator yang mudah basah (hidrofilik) seperti isolator keramik/gelas ini kurang menguntungkan bila dioperasikan pada daerah berkelembaban dan berpolusi tinggi seperti di kawasan industri/perkotaan, pesisir pantai karena dapat menyebabkan korosi, meningkatnya arus bocor (leakage current) dan memicu terjadinya tegangan lewat denyar (flashover).

Sejak beberapa tahun terakhir ini material polimerik telah muncul secara bertahap dan mulai dikembangkan sebagai alternatif pengganti material keramik dan gelas. Kelebihan yang dimiliki material polimer silikon rubber yaitu sifat dielektrik, resistivitas volume, sifat termal, kekuatan mekanik dan ringan (Gubanski et al, 2007). Karena ringannya pemasangan dan pemeliharannya lebih mudah dibandingkan material keramik dan gelas. Perbandingan berat berbagai jenis isolator berbahan polimer adalah 36,7% - 93% lebih ringan dari isolator porselen/keramik. Selain itu isolator polimer silicone rubber SIR yang memiliki sifat menolak air (hydrophobicity), bahkan mampu memulihkan (recovery) dan memindahkan (transfer) sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi menyebabkan lapisan polusi ikut bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik dan kemampuannya mentransfer sifat tersebut ke lapisan polusi sangat bermanfaat bagi isolator listrik pasangan luar karena dalam kondisi lembab, basah atau hujan tidak akan memberi peluang terbentuknya lapisan air

yang kontinu sehingga konduktivitas permukaan isolator tetap rendah dengan demikian arus bocor (leakage current) yang terjadi sangat kecil (Kibbie, 2000).

Meskipun berbagai keunggulan yang dimiliki material polimer akan tetapi material tersebut merupakan material sintesis yang umumnya rentang terhadap iklim (intensitas radiasi uv, temperatur, kelembaban atau hujan), polusi dan terpaan medan listrik yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan terjadinya degradasi dan selanjutnya mengakibatkan penuaan (aging). Penuaan material polimer yang ditempatkan diluar (outdoor) terutama disebabkan oleh energi foton yang dihasilkan oleh radiasi ultra violet (uv) dari matahari. Ketika energi foton lebih tinggi dari energi ikatan antara rantai atau antara molekul akan menyebabkan pemutusan rantai atau pembentukan ikatan silang (crosslinking) yang ditandai dengan perubahan mekanik seperti polimer menjadi keras dan rapuh (brittle) (Spellman, 1999, Venkataraman, 2008).

Pengaruh kelembaban dan curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan erosi permukaan isolator polimer. Perbedaan tekanan parsial antara bahan dan atmosfer/lingkungan memungkinkan penetrasi kelembaban ke dalam polimer. Banyaknya air yang diserap dan kecepatan proses difusi tergantung berbagai faktor di dalam bahan itu sendiri, kelembaban udara luar dan temperatur sekitar. Fenomena ini menurut beberapa peneliti disebut efek polarisasi antarmuka makroskopis (macroscopic interface) yang akan memperburuk sifat dielektrik dan listrik isolator (Kaerner, 1995). Di samping itu menyebabkan pula penurunan sifat permukaan yang dapat dilihat dengan hilangnya sifat hidrofobik, terjadinya keretakan (tracking) dan erosi pada permukaan isolator yang semakin hebat serta diikuti peningkatan arus bocor permukaan, dengan demikian akan memperpendek umur pakai isolator.

Beberapa parameter penting untuk mengetahui kinerja dari isolator pasang luar, yaitu besar arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator, sifat hidrofobik permukaan isolator dan hasil Scanning Electron Microscopy (SEM) permukaan isolator serta pengembangan bahan pengisi (filler) dari isolator polimer telah banyak dilakukan para penelitian sejak tahun 1972 oleh Niemi dan Orbeck sampai 2009 oleh Ramivas dkk. Tugas akhir ini merupakan salah satu bagian dari penelitian tersebut yang focus meneliti karakteristik elektrik dari isolator polimer yang terbuat dari elastomer silikon untuk mengetahui performace dari isolator tersebut dari terpaan cuaca dan iklim tropis serta polusi yang tinggi.

Penelitian tentang karakteristik elektrik dari isolator polimer khususnya pada daerah beriklim tropis masih belum banyak dilakukan. Karakteristik dari isolator type suspension akan kami evaluasi dengan memberikan berbagai tekanan iklim dan polusi buatan dengan merujuk pada standar IEC 1109 dan penelitian yang telah dan sedang berjalan baik dalam maupun luar negeri.

Berdasarkan latar belakang masalah yang di kemukakan di atas, maka permasalahan yang dapat dirumuskan, yaitu:

- a) Bagaimana karakteristik arus bocor permukaan dari isolator polimer SIR pada berbagai faktor iklim tropis.

- b) Bagaimana pengaruh faktor iklim tropis terhadap isolator polimer SIR tegangan tinggi.
- c) Mengetahui faktor-faktor yang paling berpengaruh pada tegangan tembus (*breakdown*) dan penuaan (*aging*) dari suatu isolator polimer
- d) Mengetahui perbandingan arus bocor permukaan isolator polimer dengan isolator keramik atau isolator gelas.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa batasan masalah yang berhubungan dengan:

- a) Penelitian karakteristik elektrik isolator polimer kami lakukan dengan asumsi bahwa karakteristik lainnya sudah cukup handal dan tidak berhubungan dengan kondisi cuaca dan iklim tropis.
- b) Penelitian karakteristik elektrik isolator polimer dilakukan dengan akselerasi penuaan buatan di bawah pengaruh tekanan yang sesuai dengan kondisi cuaca dan iklim tropis.
- c) Penelitian karakteristik elektrik isolator polimer difokuskan pada isolator tegangan tinggi pasangan luar (*outdoor insulators*).

Pada penelitian ini digunakan 3 (tiga) metode yaitu:

a) Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan pada tahap awal pelaksanaan penelitian ini. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang berhubungan dengan permasalahan dan pembahasan pada penelitian ini.

b) Metode Eksperimen / Pengujian

Pengukuran dan pengujian dilakukan terhadap beberapa sifat-sifat fisik, sifat kimia, dan sifat elektrik dengan menggunakan standar uji mutu IEC 1109. Kegiatan eksperimen atau pengujian dilakukan pada laboratorium teknik tegangan tinggi UNHAS dan laboratorium Oseanografik kimia di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan UNHAS.

c) Metode Analisis

Metode Analisis dilakukan pada tahap akhir penelitian ini. Pelaksanaannya setelah diperoleh data-data hasil pengujian di laboratorium. Hasil pengukuran dan pengujian dari sampel, kemudian dibandingkan dengan isolator keramik dan spesifikasi standar yang telah ditetapkan berdasarkan literatur-literatur.

Hasil Penelitian ini di harapkan dapat menjadi masukan data primer kepada stakeholder ketenagalistrikan terutama perusahaan Transmisi (Transco) dan perusahaan Distribusi (Disco) di Wilayah beriklim tropis khususnya PT.PLN (Persero) serta Industri produsen isolator dalam hal:

- a) Bahan pertimbangan bagi PT.PLN (persero) dalam peningkatan kapasitas jaringan transmisi dan distribusi dengan menambah kemampuan isolator tanpa mengganti tower yang sudah terpasang.

- b) Dapat menjadi bahan pertimbangan bagi PT.PLN (persero) dalam merekonstruksi isolator jaringan transmisi dan distribusi yang mengalami polusi sangat berat.
- c) Bahan masukan dan informasi bagi perencana dalam membuat desain jaringan transmisi dan distribusi di daerah tropis.
- d) Sebagai data primer oleh industry produsen isolator dalam membuat isolator polimer untuk daerah beriklim tropis seperti di Indonesia.
- e) Penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu bahan studi banding bagi penelitian-penelitian lanjutan yang sejenis dalam bidang teknologi isolasi medan listrik dan medan magnet.

Isolator polimer adalah isolator yang terbuat dari susunan beberapa monomer membentuk suatu isolator sesuai dengan peruntukannya. Isolator polimer yang kami gunakan dalam penelitian ini adalah isolator polimer dari bahan dasar rubber dengan bahan pengisi (filler) silicon dan Alumina trihidrat yang disebut Silicon Insulation Rubber disingkat dengan SIR.

Struktur kimia elastomer silikon terdiri dari tulang punggung ikatan dari bahan anorganik (silikon dan oksigen) yang tahan terhadap penuaan, namun ikatan samping yang terdiri dari bahan organik (karbon dan hidrogen) dapat mengalami degradasi oleh terpaan dari berbagai faktor iklim seperti temperatur tinggi, kelembaban, hujan serta radiasi ultraviolet dengan intensitas tinggi sebagaimana yang dijumpai di daerah beriklim tropis seperti di Indonesia. Terpaan iklim tropis secara simultan pada isolator polimer SIR kemungkinan akan mengakibatkan degradasi sifat-sifatnya, yang ditandai dengan perubahan warna, perubahan sifat dielektrik dan menghilangnya sifat hidrofobik, serta munculnya arus bocor yang terus meningkat sehingga pada akhirnya terjadi keretakan (tracking) erosi, treeing yang akan memperpendek umur isolator.

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap performansi material isolasi polimer adalah cacat (defect). Cacat itu dapat timbul dalam bentuk void, ketidakhomogenan (impurities), dan tonjolan (protrusion) pada permukaan (interface) antara lapisan semikonduktor atau konduktor dengan isolasi polimer sehingga dapat meningkatkan tekanan (stress) medan listrik yang tinggi pada bagian yang cacat tersebut dalam aplikasinya. Tekanan (stress) listrik yang terus-menerus akan menyebabkan penuaan (aging) isolasi polimer dan pada cacat tersebut akan tumbuh electrical treeing yang disertai dengan munculnya peristiwa partial discharge (PD) dalam material isolasi polimer yang merupakan awal terjadinya breakdown pada isolasi polimer.

Arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator polimer dapat dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu pertama arus bocor yang timbul karena peningkatan konduktivitas permukaan isolator akibat kelembaban/hujan, polusi dan beberapa faktor iklim lainnya, kedua arus bocor yang timbul karena efek kapasitansi dari piringan isolator.

Isolator polimer silicone rubber (SIR) memiliki sifat menolak air (hydrophobicity), bahkan mampu memulihkan (recovery) dan memindahkan (transfer) sifat hidrofobiknya ke lapisan polusi menyebabkan lapisan polusi ikut

bersifat hidrofobik. Sifat hidrofobik dan kemampuannya mentransfer sifat tersebut ke lapisan polusi sangat bermanfaat bagi isolator listrik pasangan luar karena dalam kondisi lembab, basah atau hujan tidak akan memberi peluang terbentuknya lapisan air yang kontinu sehingga konduktivitas permukaan isolator tetap rendah dengan demikian arus bocor (*leakage current*) yang terjadi sangat kecil.

Profil isolator polimer dapat disederhanakan karena keunggulan dari sifat hidrofobik yang dimilikinya. Piringan isolator polimer SIR dapat diperkecil bahkan jaraknya dapat diperpendek mencapai 3,75 cm sehingga dapat diseri banyak dimana dapat menurunkan efek kapasitansi yang memberi kontribusi terhadap penurunan arus bocor. Arus bocor yang disebabkan oleh efek kapasitansi piringan isolator cukup signifikan pada tegangan transmisi yang lebih tinggi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Hasanuddin (Unhas), dengan terlebih dahulu membuat alat riset dengan bantuan pembiayaan dari JICA LBE Fund dan PT.PLN (Persero) Wilayah Sultan Batara.

Pengambilan data pada penelitian ini dapat kami lakukan setelah *alat uji multi tekanan buatan* telah selesai dibangun pada tanggal 11 Agustus 2010 yang ditandai dengan peresmian oleh Bapak Prof Masayuki Nagao sebagai Ketua Asosiasi Tegangan Tinggi International.

Peralatan yang digunakan terdiri atas: kontrol utama dan assesories, multi meter digital (*PC link*) dan assesories, PC komputer dan assesories, modul tegangan tinggi dan assesories, UPS (*Uninterruptible Power Suplies*), *lux meter*, *conductivity meter*, sensor temperatur dan kelembaban. Bahan yang dipakai yaitu sampel isolator polimer, keramik dan gelas.



(a) Isolator Polimer (SIR)



(b) Isolator Keramik (CR)



(c) Isolator Gelas (GL)

Gambar 1. Konstruksi sampel isolator type suspension

Sampel isolator polimer yang kami gunakan dalam penelitian ini adalah hasil inovasi dari perusahaan mitra, dimana dilakukan modifikasi untuk menyesuaikan dengan isolator tegangan kerja 20kV. Setelah sampel dibuat dengan baik, sampel harus dihindarkan dari pengaruh lingkungan. Potongan sampel yang lain dikemas

dengan rapi dan di bawah ke laboratorium kimia analitik, sedangkan bagian sampel yang akan di uji pada laboratorium HV dimasukkan ke dalam ruang pengujian (*chamber*) dan di uji sesuai prosedur dan standar uji mutu isolator non keramik IEC 1109. Seperti terlihat pada gambar berikut ini:



(a) Kondisi Operasi

(b) Kondisi stop

Gambar 2. *Chamber* pengujian isolator tegangan tinggi.

A. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang kami gunakan pada penelitian ini adalah:

- Menguji karakteristik elektrik isolator polimer SIR dari pengaruh tekanan buatan secara terpisah (*partial*).
- Menguji karakteristik elektrik isolator polimer SIR di bawah pengaruh tekanan buatan secara simultan sesuai standar IEC 1109.
- Menguji karakteristik elektrik isolator polimer SIR dari pengaruh flashover.
- Mengatur tegangan kerja transformator tegangan tinggi (HV), dalam penelitian ini kami gunakan tegangan kerja 20kV.
- Menberikan multi tekanan buatan terhadap sampel dalam *chamber* sesuai schedule yang ditetapkan dalam standar IEC1109.
- Mengukur arus bocor permukaan isolator setiap detik, Kelembaban dan temperatur.
- Melakukan pengamatan dan observasi data-data primer dari alat-alat ukur laboratorium.
- Hasil pengukuran dan pengujian dari sampel, kemudian dievaluasi dan dibandingkan dengan isolator keramik dan isolator gelas yang kami ambil sebagai pembandingan.

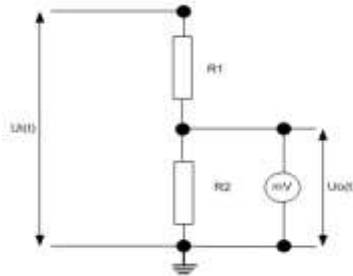
B. Tahapan Pengujian

Karakteristik elektrik yang kami uji dalam penelitian isolator polimer SIR adalah mengetahui karakteristik arus bocor (*leakage current*) pada isolator polimer SIR di bawah tekanan buatan yang merepresentasikan cuaca dan iklim pada daerah tropis. Pengaruh cuaca ini kami berikan dalam bentuk parsial dan simultan. Harapan

kami kiranya agar dapat mengetahui pengaruh dominan komponen cuaca dan iklim tropis terhadap kinerja isolator polimer SIR.

- A. Menguji karakteristik elektrik isolator polimer SIR di bawah pengaruh tekanan buatan secara parsial.
- B. Menguji karakteristik elektrik isolator polimer SIR di bawah pengaruh tekanan buatan secara simultan

Periode dan *schedule* yang kami gunakan dalam penelitian ini mengikuti standar uji mutu material non keramik yang dikeluarkan oleh IEC 1109. Dengan rangkaian pengukuran arus bocor (*leakage current*) adalah rangkaian pembagi tegangan, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 3. Rangkaian ekivalen pembagi tegangan

Dimana $U_i(t)$ adalah tegangan tembus pada isolator, $U_o(t)$ adalah tegangan yang terukur oleh multimeter, R_1 adalah resistansi kabel sinyal dari isolator ke alat ukur, R_2 adalah nilai resistansi dari *Resistor Headsink* yang digunakan sebagai pembagi tegangan. Arus bocor yang mengalir diukur dengan membagi tegangan terhadap nilai resistansi R_2 .

C. Jenis Data dan Sumber Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini dapat digolongkan menjadi data-data primer dan sekunder. Data-data primer berupa hasil pengujian di Laboratorium Kimia Analitik (seperti struktur kimia polimer yang digunakan) dan hasil pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi (seperti data pengujian arus bocor isolator polimer terpolusi buatan). Adapun data-data sekunder seperti informasi spesifikasi isolator polimer serta data cuaca dan iklim kami peroleh dari instansi BMG setempat.

D. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian isolator polimer SIR adalah *humidification*, *heating*, *demineralisasi rain*, *saltfog* 7 kg/m^3 , *solar radiation simulation* dan tegangan tinggi 20kV dengan mengambil sampel isolator keramik dan isolator gelas baru (*virgin*) yang telah diterapkan di daerah beriklim tropis sebagai pembanding. Kendala yang dialami dalam penggunaan isolator keramik, terutama pada daerah berpolusi tinggi menjadi salah satu acuan dalam mencari solusi terbaik.

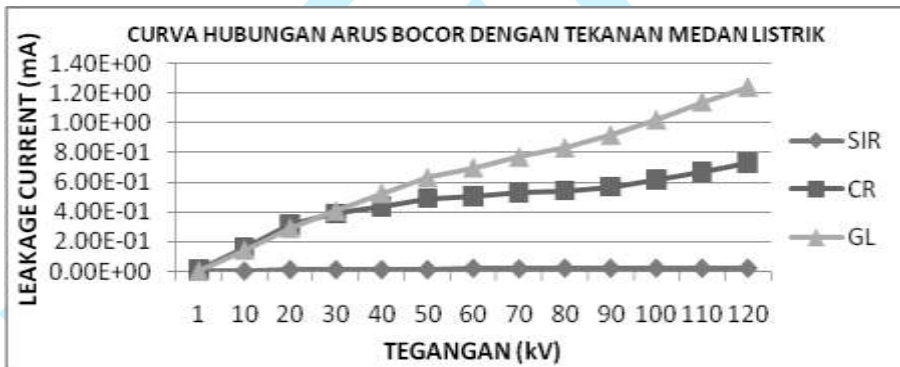
Pengujian isolator polimer dengan polusi, cuaca dan iklim buatan pada laboratorium tegangan tinggi untuk menguji konduktivitasnya dan karakteristik elektrik lainnya.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian karakteristik isolator polimer SIR di bawah pengaruh berbagai tekanan buatan yang dipercepat merupakan salah satu bagian penelitian dari *roadmap* penelitian isolator polimer didaerah tropis. Dalam pembahasannya fokus menganalisis karakteristik isolator polimer SIR dengan mengambil sampel isolator keramik dan isolator gelas sebagai pembanding. Ketiga jenis sampel diperlakukan sama terhadap waktu maupun tekanan yang diberikan.

A. Hasil pengujian karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah pengaruh tekanan medan listrik(HV)

Dalam pengujian ini dapat diketahui pengaruh perubahan tegangan terhadap arus bocor pada isolator polimer SIR. Selain itu juga dapat mengetahui level tegangan yang dapat ditahan oleh isolator polimer tiap piringan pada temperatur kamar (RT) dan temperature tinggi (HT), kelembaban tinggi dan kelembaban rendah, tertekan polusi dan sejenisnya.



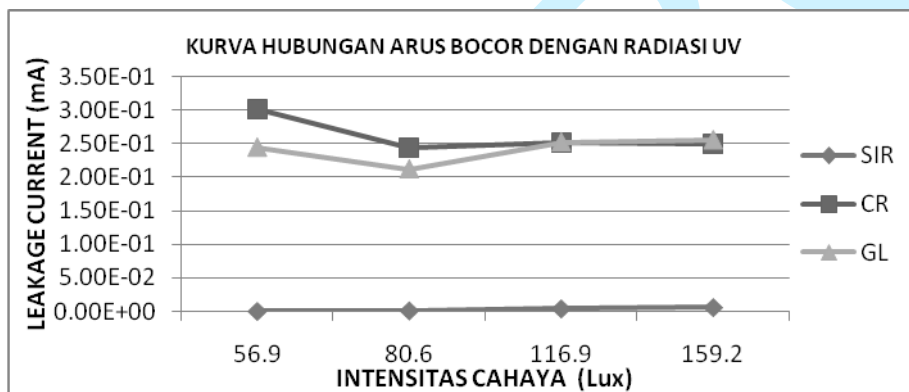
Gambar 4. Kurva arus bocor (*leakage current*) pada isolator polimer di bawah tekanan medan listrik (HV)

Dari kurva tersebut di atas dapat diketahui bahwa besar arus bocor yang timbul pada isolator polimer SIR tidak dipengaruhi oleh fluktuasi tegangan. Tidak ada arus bocor pada isolator polimer SIR pada tegangan nominalnya. Begitu pula jika tegangan dinaikkan hingga 120 kV arus bocor pada isolator polimer sangat kecil, sehingga bisa dikatakan bahwa isolator polimer tidak ada kendala terhadap gangguan surja. Sedangkan pada isolator keramik dan isolator gelas, arus bocor pada permukaan isolator semakin besar jika tekanan medan listrik yang diberikan semakin besar

walaupun tegangan yang digunakan masih dalam kondisi tegangan nominal isolator tersebut.

B. Hasil Pengujian karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah tekanan Radiasi Ultra Violet (UV)

Dalam pengujian ini dapat diketahui pengaruh tekanan radiasi Ultra Violet (UV) terhadap karakteristik arus bocor pada isolator polimer SIR. Sampel diuji pada tegangan kerja 20kV dengan membuat variasi radiasi UV. Radiasi Ultra Violet (UV) yang kami gunakan adalah UV_A (*black light*) dengan panjang gelombang (λ) 380 s.d 315 nm. Pengaruh tekanan radiasi UV terhadap isolator polimer SIR dapat diketahui dengan menerpa radiasi UV diatas permukaan isolator dalam keadaan bertegangan 20kV sambil merekam arus bocor (*leakage current*) selama periode pengujian. Data hasil pengujian isolator polimer dari tekana radiasi UV ditunjukkan pada kurva berikut ini.

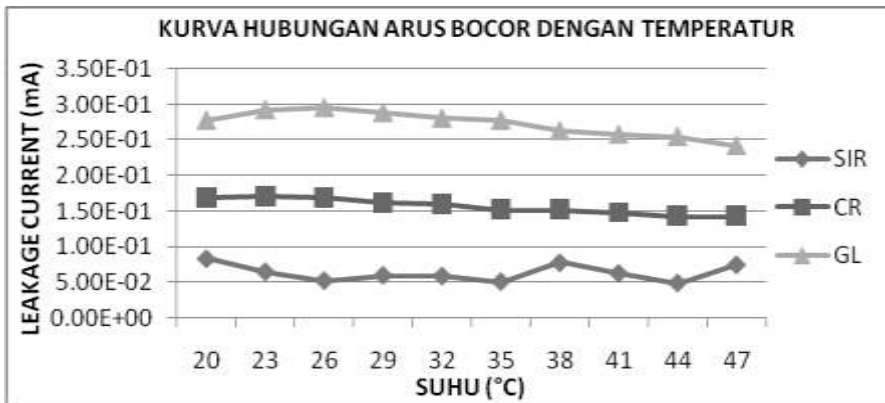


Gambar 5. Kurva arus bocor (*leakage current*) isolator polimer SIR di bawah pengaruh tekanan radiasi Ultra Violet (UV)

Dari table diketahui bahwa tidak ada hubungan secara langsung yang dapat terdeteksi tentang pengaruh radiasi UV terhadap arus bocor. Perubahan nilai arus bocor sangat kecil dari variasi terpaan radiasi ultra violet (UV) yang diberikan.

C. Hasil pengujian karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah pengaruh tekanan termal ($^{\circ}\text{C}$)

Pada daerah tropis suhu rata-rata berkisar 16 $^{\circ}\text{C}$ hingga 35 $^{\circ}\text{C}$, pengaruh suhu terhadap kinerja isolator polimer perlu diketahui seperti efek arus bocor akibat penuaan maupun degradasi yang dapat menyebabkan *breakdown* dari isolator polimer SIR. Oleh karena itu dalam penelitian ini kami melakukan pengujian secara parsial pengaruh suhu tersebut dalam kondisi bertegangan 20 kV. Data hasil pengujian isolator polimer dari pengaruh tekanan termal ditunjukkan pada kurva berikut ini.

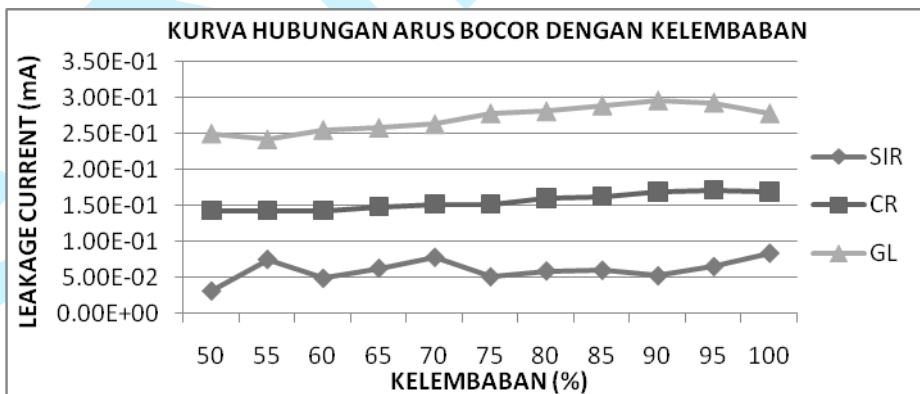


Gambar 6. Kurva arus bocor (*leakage current*) isolator polimer SIR di bawah pengaruh tekanan termal

Dari kurva tersebut diatas terlihat bahwa hubungan tekanan termal dengan arus bocor yang timbul pada isolator polimer SIR tidak besar bahkan pada interpal temperature daerah tropis terlihat bahwa arus bocor pada isolator polimer jauh lebih kecil dibandingkan dengan isolator keramik dan isolator gelas.

D. Hasil pengujian karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah tekanan Kelembaban (*humidity*).

Pengujian karakteristik arus bocor dari isolator polimer SIR di bawah tekanan kelembaban (*humidity*) dilakukan dengan memberikan kelembaban yang bervariasi sesuai dengan kondisi kelembaban daerah beriklim tropis. Data hasil pengujian isolator polimer dari pengaruh tekanan termal ditunjukkan pada kurva berikut ini.

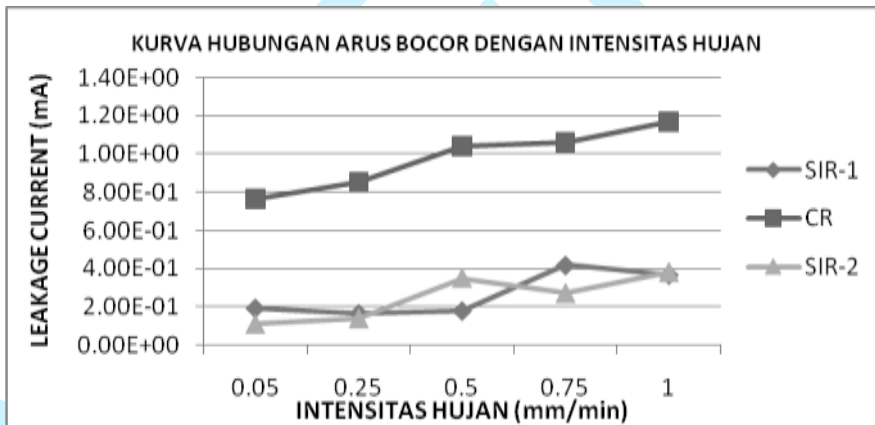


Gambar 7. Kurva arus bocor (*leakage current*) isolator polimer SIR di bawah pengaruh kelembaban udara (%)

Dari grafik diketahui bahwa ada hubungan kelembaban terhadap arus bocor pada isolator polimer, begitu juga pada isolator keramik dan isolator gelas. Arus bocor yang timbul pada isolator polimer karena pengaruh tekanan kelembaban udara jauh lebih kecil dibandingkan dengan isolator keramik dan gelas. bahkan dengan kelembaban sikitar 50% pada keramik dan gelas masih terus terjadi arus bocor sedangkan pada isolator polimer SIR sudah tidak terjadi arus bocor sama sekali. Kondisi tersebut terjadi disebabkan karena isolator polimer SIR mempunyai sifat menolak air (*Hydropobic*) sehingga uap air yang menempel membentuk butiran-butiran dengan sudut kontak yang lebih besar.

E. Hasil penguji karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah pengaruh Hujan (*rain clean water*)

Pengujian karakteristik arus bocor dari isolator polimer SIR di bawah pengaruh hujan (*clean rain water*) dilakukan dengan memberikan intensitas curah hujan yang bervariasi sesuai dengan intensitas curah hujan pada daerah tropis. Curah hujan pada daerah tropis berkisar 40 s.d 500 mm mulai dari hujan gerimis hingga hujan yang sangat lebat dengan intensitas curah hujan 0.01mm/min s.d 1.00 mm/min dengan sudut kemiringan 45°. Data hasil pengujian isolator polimer dari pengaruh curah hujan (*rain clean water*) ditunjukkan pada kurva berikut ini



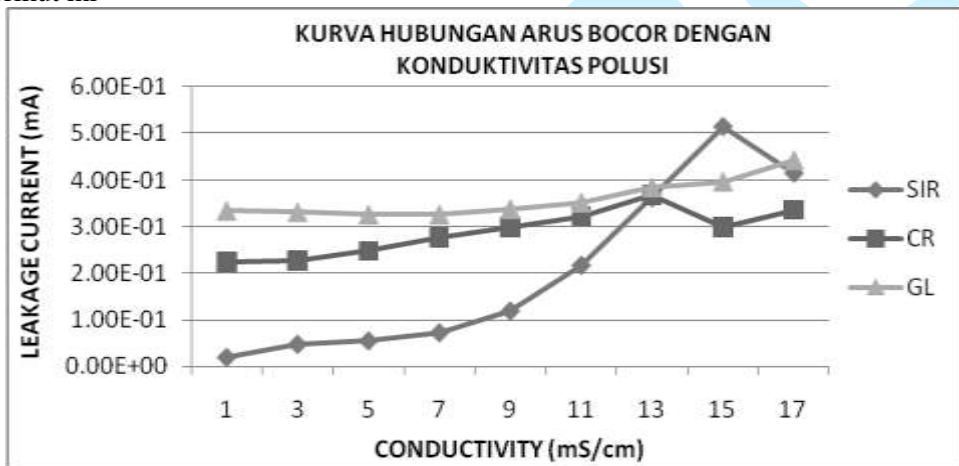
Gambar 8. Kurva arus bocor (*leakage current*) isolator polimer SIR di bawah pengaruh intensitas curah hujan (mm/min)

Dari hasil yang ditunjukkan pada kurva di atas diketahui bahwa nilai arus bocor pada isolator polimer SIR semakin besar jika intensitas hujan semakin lebat. Selain jika dibandingkan karakteristik arus bocor antara isolator polimer SIR dengan isolator keramik (CR) dan isolator gelas (GL) terlihat bahwa arus bocor pada isolator polimer SIR jauh lebih kecil pada intensitas hujan yang sama. Hal ini dapat dipahami karena isolator polimer SIR mempunyai sifat *hydropobic* sehingga air hujan yang menimpa permukaan isolator polimer membentuk butiran-butiran dengan sudut kontak yang

besar sehingga konduktifitas akibat hidrolisis dari terpaan air hujan kurang berpengaruh dibandingkan dengan isolator keramik.

F. Hasil pengujian karakteristik arus bocor (*leakage current*) di bawah pengaruh Kabut Garam (*salt fog*).

Pengujian karakteristik arus bocor dari isolator polimer SIR di bawah pengaruh kabut garam dilakukan dengan membuat kabut garam didalam *chamber* dengan konsentrasi yang bervariasi. Garam yang kami gunakan adalah NaCl karena bahannya mudah diperoleh juga merupakan jenis garam yang paling konduktif dibandingkan jenis garam yang lain sehingga dipandang cukup representative untuk mewakili pengaruh polusi terhadap kinerja isolator polimer di daerah tropis. Data hasil pengujian isolator polimer dari pengaruh polusi kabut garam ditunjukkan pada kurva berikut ini



Gambar 9. Kurva arus bocor (*leakage current*) isolator polimer SIR di bawah pengaruh konduktivitas kabut garam (mS/cm)

Dari grafik di atas diketahui bahwa konsentrasi kadar garam berpengaruh terhadap karakteristik arus bocor pada isolator polimer SIR maupun isolator keramik dan isolator gelas. Pada kadar garam hingga 11 mS/cm arus bocor pada isolator polimer masih sangat kecil tetapi setelah kadar garam dinaikkan terus hingga 17 mS/cm diketahui bahwa arus bocor pada isolator polimer lebih besar dari pada arus bocor pada isolator keramik dan isolator gelas. Berdasar spectrum sinyal arus bocor yang terekam diketahui bahwa arus bocor yang terjadi pada isolator polimer sangat berfluktuasi hal ini terkait erat dengan konstruksi dan profil dari isolator polimer yang kami gunakan.

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh kabut garam terhadap penuaan dan degradasi terhadap isolator polimer dapat diketahui dengan mengikuti prosedur IEC 1109 pada pengujian pengaruh tekanan buatan simultan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data pengujian dan hasil analisis yang kami gunakan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik arus bocor Isolator polimer SIR sangat stabil terhadap perubahan tegangan dibandingkan dengan isolator keramik dan isolator gelas, dengan arus bocor maksimal 1,9.10⁻² mA pada tegangan 6 kali tegangan nominalnya. Hal ini sangat mendukung kemampuan jaringan terhadap gangguan *switching* dan sambaran petir.
2. Arus bocor permukaan isolator polimer SIR sangat kecil dibandingkan dengan isolator keramik dari terpaan hujan buatan dengan perbandingan mencapai 1: 4,11 dengan selisih 73,35 % dibandingkan dengan isolator keramik . Hal ini terjadi karena permukaan isolator polimer bersifat menolak air (*hydropobic*) dengan sudut kontak besar sehingga sulit terjadi hidrolisis yang dapat menjadi jembatan arus bocor pada permukaan isolator polimer SIR .
3. Berdasarkan kondisi fisik dan karakteristik arus bocor pada isolator polimer SIR setelah diterpa berbagai multi tekanan buatan dapat diketahui bahwa faktor dominan yang mempengaruhi umur isolator polimer SIR adalah polusi kabut garam. Hal ini dapat dilihat dari perubahan warna dan besarnya arus bocor yang timbul akibat terpaan kabut garam konsentrasi tinggi.
4. Berdasarkan karakteristik arus bocor permukaan dari terpaan multi tekanan buatan dipercepat diketahui bahwa arus bocor isolator polimer SIR sangat kecil untuk semua jenis pengaruh dan tekanan iklim tropis dibandingkan dengan isolator keramik dan isolator glass dengan perbandingan terkecil terjadi ketika diterpa polusi polusi kabut garam dengan perbandingan rata-rata mencapai 1: 3,14: 4,26 terhadap isolator keramik dan isolator gelas. selisih arus bocor terendah rata-rata mencapai 72,03 % terhadap isolator keramik dan 58,21% terhadap isolator gelas.
5. Kestabilan arus bocor pada permukaan isolator polimer SIR pada saat diterpa hujan sangat dipengaruhi oleh bentuk profil isolator polimer SIR. Namun karena sifat *hydropobic* yang dimilikinya sehingga dengan profil yang sederhana masih jauh lebih rendah arus bocornya dibandingkan dengan isolator keramik dan gelas. Selain itu dengan profil yang sederhana maka kapasitansi antara piringan isolator sangat kecil. Sehingga profil isolator untuk aplikasi iklim tropis harus di design khusus.

V. DAFTAR PUSTAKA

Akhmad Taufik, 2008, *Kajian Intensitas Polusi dan Hubungannya Terhadap Profil Isolator keramik Pasangan Luar (Study kasus GI Jeneponto 150 kV)*, Thesis Pascasarjana Elektro konsentrasi Energi Listrik UNHAS, Makassar.

37 Mustamin, Salama Manjang, *Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat*

Dissado, L.A. and Fothergil, J.C. 1992. *Electrical Degradation and Breakdown In Polymers*. Redwood Press, Wiltshire: England.

Gorur, R.S., Cherney, E.A., Burnham, J.T. 1999. *Outdoor Insulators*. Arizona: USA.

IEC 60-1, High Voltege Test Technique.

Kind Dieter, Kamer Hermann. 1985. *High Voltage Insulation Tecnology*. W. Langeluddecke, Braunschweig: Germany.

Salama, Suwarno, K. T. Sirait, H.C. Kaerner (1998), *The dielectric properties and surface hydrophobicity of silicone rubber under the influence of the artificial tropical climate*, Proc, 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials, Toyohashi, Japan, P2-3, 607-610.

Salama Manjang, Mustamin, 2010, *Kajian Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi Oleh Penuaan Berbagai Tekanan Buatan Pada Daerah Tropis*, Proc, National Conference on Industrial Electrical and Electronic, UNTIRTA, Cilegon, Indonesia, 15-16 Desember 2010.