

SKRIPSI

STUDI PERBANDINGAN KINERJA ISOLATOR POLIMER DAN PORSELIN DI BAWAH TERPAAN POLUSI INDUSTRI SEMEN DI GI PT. SEMEN TONASA

Disusun dan diajukan oleh:

ANDI MUHAMMAD FAUZAN
D0411 81 501



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI PERBANDINGAN KINERJA ISOLATOR POLIMER DAN
PORSELIN DI BAWAH TERPAAN POLUSI INDUSTRI SEMEN DI
GI PT. SEMEN TONASA**

Disusun dan diajukan oleh

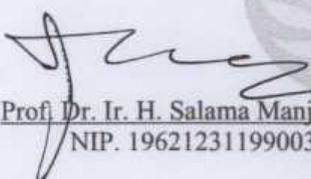
**ANDI MUHAMMAD FAUZAN
D041 18 1501**

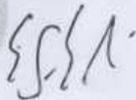
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 01 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPM
NIP. 19621231199003 1 024


Dr. Ir. Ikhlas Kitta, ST., MT.
NIP. 19760914200801 1 006

Ketua Departemen Teknik Elektro




Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., IPM
NIP. 19691026 199412 2 00



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Andi Muhammad Fauzan
NIM : D041181501
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI PERBANDINGAN KINERJA ISOLATOR POLIMER DAN PORSELIN
DI BAWAH TERPAAN POLUSI INDUSTRI SEMEN DI GI PT. SEMEN
TONASA

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 04 Februari 2024

Yang Menyatakan



Andi Muhammad Fauzan



ABSTRAK

ANDI MUHAMMAD FAUZAN. *Studi Perbandingan Kinerja Isolator Polimer dan Porselin di Bawah Terpaan Polusi Industri Semen di GI PT. Semen Tonasa (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T dan Dr. Ikhlas Kitta, ST.MT).*

Isolator merupakan salah satu alat kelistrikan yang penting pada suatu sistem saluran tenaga listrik, dimana fungsi utama dari isolator dapat mengisolasi suatu bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Saat ini terdapat 2 jenis isolator yang dipakai pada kawasan industri seperti isolator porselin dan isolator polimer. Salah satunya ada di Gardu Induk pada kawasan industri semen PT. Semen Tonasa. Isolator yang berada pada kawasan pabrik dapat terkontaminasi oleh polusi polutan semen yang dapat mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut. Pengaruh dari polutan semen terhadap isolator dapat berbeda berdasarkan dari bahan isolator yang digunakan, sehingga pada penelitian ini akan menganalisis serta membandingkan pengaruh polutan semen terhadap kinerja isolator polimer dan porselin terkait unsur dan senyawa yang terdapat pada polutan semen menggunakan 3 jenis analisis yaitu, analisis secara kimia menggunakan metode XRF, XRD, dan pengukuran konduktifitas larutan, analisis secara fisika menggunakan metode pengujian sudut kontak droplet air terhadap permukaan isolator. Serta analisis listrik menggunakan metode pengukuran tegangan flashover dan pengukuran withstand test. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan beragam perbedaan dan kesamaan pada penelitian-penelitian sebelumnya pada saat pengujian pengaruh polutan semen pada 2 jenis isolator polimer dan porselin, dimana sifat hidrofobik pada isolator polimer saat pengujian sudut kontak dan pengukuran tegangan *flashover* pada isolator dalam keadaan basah, dapat berkerja dengan baik dibandingkan dengan isolator porselin yang bersifat hydrophilic, namun terdapat perbedaan ketika isolator polimer dalam keadaan berpolutan, dimana nilai konduktifitas larutan cukup tinggi dibandingkan dengan polutan pada isolator porselin hal tersebut juga ditunjukkan pada pengukuran *flashover* dan *withstand test* dimana isolator porselin mempunyai nilai tegangan *flashover* yang lebih tinggi dibandingkan isolator polimer, hal tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor penuaan pada isolator polimer yang berada pada kondisi paparan polusi semen yang tinggi, serta pengaruh/reaksi unsur dan kimia pada polutan semen terhadap lapisan permukaan isolator, mengingat bahwa isolator polimer lebih rentan mengalami reaksi kimia.

Kata Kunci: Isolator, Polimer, Porselin, Polutan, Flashover.



ABSTRACT

ANDI MUHAMMAD FAUZAN. *A Comparative Study of Polymer and Porcelain Isolator Performance Under Cement Industry Pollution at PT. Semen Tonasa Substation* (supervised by Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T and Dr. Ir. Ikhlas Kitta, ST.MT).

Insulators are essential electrical components in a power distribution system, with their primary function being the isolation of energized parts from non-energized ones. Currently, two types of insulators are used in industrial areas porcelain and polymer insulators. One of these is found at the Substation in the cement industry of PT. Semen Tonasa, insulators within factory areas can be contaminated by cement pollutants, potentially affecting their performance. The impact of cement pollutants on isolators varies depending on the insulator material used. This study focuses on analyzing and comparing the effects of cement pollutants on the performance of polymer and porcelain insulators concerning the elements and compounds present in cement pollutants using three types of analysis: chemical analysis via XRF and XRD methods, conductivity measurement of solutions, and physical analysis involving contact angle measurement of water droplets on the insulator surface. Electrical analysis is also carried out using flashover test measurement and withstand test. The research findings reveal differences and similarities compared to previous studies when testing the effects of cement pollutants on polymer and porcelain insulators. Polymer insulators exhibit superior performance in hydrophobic conditions during wet contact angle testing and flashover voltage measurement compared to hydrophilic porcelain insulators. However, when contaminated, polymer insulators show significantly higher conductivity values than porcelain isolators. This difference is also apparent in flashover and withstands test measurements, with porcelain insulators demonstrating higher flashover voltage values. These differences can be attributed to aging factors affecting polymer insulators exposed to high levels of cement pollution and the influence or reaction of elements and chemicals in cement pollutants on the insulator surface layer, given that polymer insulators are more susceptible to chemical reactions.

Keywords: Insulator, Polymer, Porcelain, pollutant, Flashover.



DAFTAR ISI

SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan	3
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Isolator	6
2.2 Jenis Gangguan	11
2.3 Polusi Pada Isolator.....	12
2.4 Pengaruh Paparan Polusi Semen Terhadap Isolator.....	17
2.5 Pengaruh Terjadinya Flashover pada Isolator.....	19
2.6 Permukaan Hydrophilic dan Hidrophobic	20
2.7 Pengukuran Perbandingan Kinerja Pada Isolator.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	26
3.2 Alat dan Bahan.....	26
3.3 Pengumpulan Alat dan Bahan Uji.....	27
3.4 Parameter Observasi.....	28
3.5 Prosedur Penelitian.....	32
3.6 Diagram Alur Penelitian	33
BAB 4 Hasil dan pembahasan	34
4.1 Analisa Secara Kimia	35
4.2 Analisa Secara Fisika	40
4.3 Analisa Sifat Listrik	45
BAB 5 Kesimpulan dan saran	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
DAFTAR LAMPIRAN	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Isolator polimer	7
Gambar 2.2 Isolator porselin.....	8
Gambar 2.3 Parameter Geometris Isolator.....	9
Gambar 2.4 Permukaan hydrophobic.....	20
Gambar 2.5 Permukaan hidrophilic	20
Gambar 2.6 Keseimbangan energi pada permukaan hydrophobic.....	21
Gambar 2.7 Keseimbangan energi pada permukaan hydrophilic	21
Gambar 2.8 Tiga metode untuk pengukuran sudut kontak	24
Gambar 2.9 Rangkaian pengujian Flashover dan Arus Bocor.....	25
Gambar 3.1 Pengukuran sudut kontak	29
Gambar 3.2 Skema pengukuran konduktivitas permukaan isolator.....	31
Gambar 3.3 Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 4.1 . Proses Pengambilan Sampel Polutan Pada Isolator Gardu Induk dalam Kawasan Pabrik PT. Semen Tonasa.....	34
Gambar 4.2 Skema Pengukuran Konduktifitas Larutan Polutan	38
Gambar 4.3 Pengukuran Konduktifitas Larutan Polutan Isolator.....	39
Gambar 4.4 Proses Pengukuran Sudut Kontak.	40
Gambar 4.5 Droplet Air pada Permukaan Isolator.....	41
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Polimer.....	42
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Porselin.....	43
Gambar 4.8 Grafik Perubahan Sudut Kontak Isolator Polimer dan Porselin.....	44
Gambar 4.9 Rangkaian Pengujian <i>Flashover</i> dan <i>Withstand Test</i>	45
Gambar 4.10 Polutan Isolator	45
Gambar 4.11 Isolator Polimer dan Porselin dalam keadaan berpolutan	46
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan tegangan <i>flashover</i> isolator porselin dalam keadaan; kotor, basah, dan bersih	48
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan tegangan <i>flashover</i> isolator polimer dalam kotor, basah, dan bersih	49
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Pengujian <i>Flashover</i> Isolator Polimer dan	50



Gambar 4.15 Grafik Nilai Waktu (s) dan Tegangan (kV) pada pengujian Withstand Test Isolator Porselin dalam keadaan: (a) Kotor, (b) Basah, (c) Bersih52

Gambar 4.16 Perbandingan Grafik Pengujian *Withstand Test* Isolator Porselin ...53

Gambar 4.17 Grafik Nilai Waktu (s) dan Tegangan (kV) pada pengujian Withstand Test Isolator Polimer dalam keadaan: (a) Kotor, (b) Basah, (c) Bersih.55

Gambar 4.18 Perbandingan Grafik Pengujian *Withstand Test* Isolator Polimer....55



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat Polusi Berdasarkan Lingkungan.....	13
Tabel 4.1 Komposisi Unsur Pada Polutan Debu Semen.....	35
Tabel 4.2 Komposisi Senyawa Pada Polutan Debu Semen.....	36
Tabel 4.3 Nilai Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Polimer.....	42
Tabel 4.4 Nilai Rata-rata Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Polimer.....	42
Tabel 4.5 Nilai Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Porselin.....	43
Tabel 4.6 Nilai Rata-rata Perubahan Sudut Kontak pada Isolator Porselin.....	43
Tabel 4.7 Nilai Pengujian Flashover Isolator Porselin.....	47
Tabel 4.8 Nilai Pengujian Flashover Isolator Polimer.....	48
Tabel 4.9 Nilai Waktu (s) dan Tegangan (kV) <i>Withstand Test</i> Isolator Porselin..	51
Tabel 4.10 Nilai Waktu (s) dan Tegangan (kV) <i>Withstand Test</i> Isolator Polimer..	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Pengukuran	54
Lampiran 2 Dokumentasi Kegiatan	56



KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “STUDI PERBANDINGAN KINERJA ISOLATOR POLIMER DAN PORSELIN DI BAWAH TERPAAN POLUSI INDUSTRI SEMEN DI GI PT. SEMEN TONASA” dapat terselesaikan sebagai syarat kelulusan pada Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari tanpa adanya kemauan dan usaha serta bantuan dari berbagai pihak, maka proposal ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) H.Musyafir, SE., MBA. dan Hj. Andi Dahlia sebagai orang tua yang menjadi *support system* utama bagi penulis. Ucapan terima kasih atas segala doa, kasih sayang, pengertian, motivasi, dan segala masukan yang telah diberikan dapat bernilai positif sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kembali atas segala pengorbanan kedua orang tua dalam membesarkan penulis, yang mendidik dari kecil hingga dapat menyelesaikan masa studi S1 Teknik Elektro di Universitas Hasanuddin, Semoga suatu saat penulis dapat membalas kebaikan yang tak terhingga dari kedua orang tua.
- 2) Andi Aris Rinaldi, ST. dan Andi Rivan Musyafir, SE., AK selaku saudara penulis. Terima kasih telah memberikan segala macam *support* dan masukan-masukan positif selama masa perkuliahan, sehingga sangat membantu penulis dalam menyelesaikan penggarapan skripsi ini. Semoga segala urusan dapat dipermudah dan segala kebaikan yang telah diberikan kepada penulis dapat bernilai pahala.
- 3) Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Ikhlas Kitta, ST.MT selaku Dosen Pembimbing II. Terima kasih banyak atas segala ilmu, pembelajaran, bimbingan, masukan, serta pengalaman yang telah diberikan kepada penulis selama proses perkuliahan sehingga dapat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala kebaikan beserta ilmu yang telah diberikan dapat bernilai amal riayah oleh Allah SWT.



- 4) Bapak Ir. Tajuddin Waris, M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Yusri Syam Akil, ST.,MT.,Ph.D. selaku Dosen Penguji 2. Penulis mengucapkan terima kasih banyak atas segala ilmu serta segala masukan selama proses penggarapan skripsi ini dari tahap awal proposal, hasil, hingga tutup. Semua masukan yang telah diberikan sangat berguna bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, semoga segala ilmu yang diberikan dapat bernilai ibadah kepada Allah SWT.
- 5) Tenaga pendidik Dosen dan staf Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Terima kasih banyak penulis ucapkan atas segala ilmu, bantuan, dan masukan yang senantiasa diberikan selama masa perkuliahan penulis hingga tahap penggarapan skripsi ini selesai. Hal tersebut sangat bermakna bagi penulis, semoga kebaikan dan segala ilmu yang diberikan dapat bernilai pahala bagi Allah SWT.
- 6) CAL18RATOR atau teman se-angkatan 2018, Terima kasih atas pengalaman, bantuan, dan kebersamaan semasa perkuliahan, yang memberikan cerita dan kesan positif bagi penulis selama menjalani masa studi perkuliahan. Semoga teman-teman senantiasa diberikan kesehatan, kekuatan, dan kemudahan dalam segala urusan.
- 7) Tim Magnivision Network. Terima kasih penulis ucapkan atas segala capaian serta pengalaman berharga bagi penulis selama proses pembelajaran pada bidang industri kreatif. Segala semangat dan perjuangan menjadi inspirasi penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
- 8) Andi Aliya Rozhida, S.psi. selaku partner terbaik se-jagad raya. Penulis mengucapkan terima kasih banyak telah memberikan banyak support, semangat, masukan dan pembelajaran berharga kepada penulis. Terima kasih telah menjadi partner dalam berbagi hal, terima kasih atas segala cerita dan pengalaman unik, seru, dan lucu, terima kasih telah hadir dan mau menjadi pendengar cerita yang baik bagi penulis, terima kasih telah merawat semua kucing-kucing-nya dengan penuh kesabaran dan kasih sayang, semoga dapat bernilai pahala. Tetap semangat dalam berbagai proses yang membentuk, semoga segala keinginan dan doa dapat segera terwujud dan segala hal baik dapat selalu menyertai.



- 9) Sabahat penulis yakni Wais, Fajar, Anis, Muhamin, Fadil, Muslimin, Halim, Asfar, dan haykal. Terima Kasih banyak penulis ucapkan atas segala kebersamaan, bantuan, tempat berbagi cerita, serta segala kisah unik yang diukir bersama. Semoga selalu diberi kesehatan dan kelancaran dalam segala urusan.
- 10) Muh. Syafri Zainuddin, ST. selaku teman dan tempat konsultasi penulis pada proses penelitian komposisi kimia polutan semen. Penulis ucapkan terima kasih banyak atas segala bantuan dan masukan selama proses penggarapan skripsi ini selesai.
- 11) Saudara Reinhardt Ramadhan sebagai laboran lab serta seluruh tim peneliti di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur. Terima kasih atas segala bantuan selama proses penggarapan skripsi ini selesai, beserta Bapak Mustamin, ST., MT., selaku mahasiswa S3 yang mendampingi penulis selama proses pengukuran *flashover* dan *withstand test*. Semoga segala kebaikan yang diberikan dapat menjadi berkah dan dilancarkan segala urusannya.
- 12) Bapak Rusdianto selaku manager di Power House Tonasa 2-3, yang telah memberikan arahan dan bantuan selama proses penelitian di kawasan pabrik PT. Semen Tonasa, serta Pak Rusly dan Pak Rahmat yang telah mendampingi penulis dalam mengambil sampel polutan isolator di gardu-gardu induk. Semoga segala kebaikan dapat menjadi berkah dan dilancarkan dalam segala urusan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada para pembaca agar memberikan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik.

Gowa, 1 Februari 2024

Andi Muhammad Fauzan



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gardu induk pada pabrik semen merupakan salah satu elemen krusial dalam proses produksi, dimana pengoptimalan alat atau komponen yang digunakan pada gardu induk dalam pabrik membutuhkan perhatian khusus terkait kondisi dan kinerja alat untuk menjaga operasionalitas tetap optimal. Salah satu hal yang sangat mesti diperhatikan adalah akumulasi dari paparan debu semen pada area pabrik terkhususnya pada gardu-garduk induk yang berada pada pabrik PT. Semen Tonasa, dimana debu dapat menempel pada berbagai permukaan komponen, termasuk isolator yang memiliki dampak konsekuensi serius terhadap kinerja keseluruhan sistem.

Isolator merupakan sebuah alat yang sangat penting pada suatu sistem saluran tenaga listrik, dimana fungsi utama dari isolator yaitu mengisolasi suatu bagian yang bertegangan terhadap bagian yang tidak bertegangan. Adapun jenis isolator yang masih dipakai pada industri pabrik semen, khususnya di pabrik PT. Semen Tonasa yaitu isolator porselin dan isolator polimer. Pemilihan penggunaan jenis isolator pada alat komponen kelistrikan yang tepat sangat diharuskan, mengingat, paparan bahan polutan debu di sekitaran Kawasan pabrik sangat signifikan. Hal tersebut berguna untuk mencegah flashover akibat dari paparan polutan yang menempel pada isolator.

Polutan merupakan sebuah partikel berukuran kecil, yang dapat menempel pada suatu permukaan objek, dimana sifat dari polutan tersebut dapat mencemarkan atau mengganggu suatu sistem kinerja alat yang terpapar secara langsung oleh polutan. Menurut (Artana, 2018) Polutan yang bersumber dari udara dapat dibagi menjadi dua jenis berdasarkan dari proses pembentukan yaitu, polutan primer dan polutan sekunder. Polutan primer berasal dari proses pembenturan asap pada pabrik-pabrik di skala industri besar, dimana terdapat berbagai macam bahan polutan yang dikeluarkan langsung ke atmosfer melalui pembenturan asap. Sedangkan proses pembentuk polutan sekunder terjadi di atmosfer, yang dihasilkan oleh reaksi kimia dari bahan polutan primer dengan



komponen alamiah atmosfer seperti oksigen dan air, yang akan menghasilkan ozon di udara.

PT. Semen Tonasa merupakan Industri penghasil semen yang telah beroperasi lebih dari 50 tahun, dimana saat ini PT. Semen Tonasa memiliki kapasitas terpasang 5.980.000 ton semen per-tahun, serta memiliki 4 unit pabrik yaitu pabrik Tonasa II, III, IV, dan V. Berdasarkan (Amali, 2010) industri pabrik semen merupakan salah satu sumber dari polusi yang dapat mempengaruhi kinerja isolator. Pengaruh polutan semen terhadap isolator dapat menurunkan kinerja isolator yang terpapar secara terus menerus, berdasarkan penelitian yang dilakukan (Adriyani Sirait, 2020) pengujian isolator dibawah terpaan polusi semen (pengotoran buatan) terhadap isolator kaca dalam keadaan kotor (berpolusi) dapat menimbulkan perubahan *surface resistance* yang memperkecil nilai resistansi dan resistivitas pada isolator, dan memperbesar nilai konduktivitas yang dapat menimbulkan arus bocor. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut terkait pemilihan bahan dielektrik yang berbeda seperti polimer dan porselin pada isolator yang terkena paparan polutan semen (asli) yang diambil langsung dari permukaan isolator yang terpakai pada gardu induk dalam pabrik, agar memberikan gambaran secara aktual dan nyata terkait dampak yang dihasilkan oleh polutan debu semen pada isolator.

Pada Penelitian ini, penulis akan mengkaji dan menganalisis kinerja isolator porselin dan isolator polimer pada Gardu induk PT. Semen Tonasa dibawah terpaan polusi polutan debu dengan melakukan beberapa pengukuran, seperti; pengukuran konduktivitas larutan polutan semen, pengukuran komposisi kimia polutan semen, pengukuran sudut kontak droplet air terhadap permukaan isolator dan simulasi flashover di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur. Hasil dari pengujian tersebut akan dibandingkan dalam pemilihan jenis isolator (Isolator polimer dan isolator porselin) yang digunakan di kawasan pabrik khususnya di gardu induk PT. Semen Tonasa untuk memberikan gambaran dampak dari paparan polutan semen terhadap isolator, sehingga dapat

kan tindakan mitigasi melalui pemilihan jenis isolator pada gardu indu kinerja dan keberlanjutan sistem daya pada pabrik semen PT. Semen tonasa tetap optimal.



1.2 Rumusan Masalah

Perumusan Masalah pada penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana mengetahui unsur polutan semen
2. Bagaimana kinerja *hydrophobic* pada isolator polimer dan isolator porselin
3. Bagaimana perbandingan konduktifitas polutan yang menempel di isolator polimer dan isolator porselin

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini, yaitu :

1. Untuk mengetahui unsur polutan semen
2. Untuk mengetahui kinerja *hydrophobic* isolator polimer dan isolator porselin
3. Untuk mengetahui perbandingan konduktifitas polutan yang menempel di isolator polimer dan isolator porselin

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Dapat mengetahui unsur polutan semen
2. Dapat mengetahui kinerja *hydrophobic* isolator polimer dan isolator porselin
3. Dapat mengetahui perbandingan konduktifitas polutan yang menempel di isolator polimer dan isolator porselin.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Ruang Lingkup penelitian dilakukan pada gardu induk di PT Semen Tonasa
2. Simulasi dilakukan di laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Hasanuddin
3. Penelitian ini membahas perbandingan kinerja isolator polimer dan isolator porselin dibawa terpaan polusi polutan debu di kawasan pabrik PT. Semen



isa.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan tahapan penelitian berupa kajian yang dilakukan oleh penulis atas sumber atau referensi dengan cara mempelajari buku, jurnal, serta artikel yang bertujuan menjadi referensi sehubungan dengan topik dari penelitian skripsi.

2. Pengambilan dan pengolahan data

Pengambilan sampel dan pengolahan data merupakan tahapan yang memiliki keterkaitan pada penelitian. Pada proses ini pengambilan sampel berupa polutan debu akan dilakukan di GI PT. Semen Tonasa sementara pengolahan data akan dilakukan di laboratorium.

3. Analisa hasil pengolahan dan perbandingan data

Tahapan ini, penulis menganalisis data yang telah diperoleh untuk mendapatkan hasil sementara, kemudian dilakukan perbandingan data sebelumnya untuk mendapatkan kesimpulan untuk pengolahan lebih lanjut

4. Kesimpulan

Kesimpulan merupakan proses akhir penelitian yang didapatkan dari hasil analisis data yang telah dilakukan dengan menghubungkan hasil pengolahan data dan permasalahan yang diteliti.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berupa uraian latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan.



REVISI PUSTAKA

Pada bab ini terdapat tinjauan pustaka yang berisi teori-teori yang berkaitan dengan materi penelitian yang diambil dari berbagai sumber ilmiah yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi pembahasan terkait metode pengumpulan, waktu dan tempat penelitian, serta terdapat Langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian berlangsung

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang data yang didapatkan serta analisis dari hasil penelitian yang dilakukan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini membahas kesimpulan yang ditarik dari proses penelitian yang dilakukan, serta saran dan masukan yang berkaitan dengan penelitian ini.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator adalah media yang menyediakan insulasi listrik secara elektrik dan mekanik antara bagian yang terhubung dan bagian yang tidak terhubung, Pada saluran SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi), Selain itu terdapat isolator yang berfungsi untuk mengisolir suatu peralatan dengan konduktor yang bertegangan tinggi pada badan peralatan tersebut, isolator tersebut lebih dikenal sebagai bushing yang dapat ditemukan pada trafo, pemutus daya, kapasitor tegangan tinggi serta pada peralatan-peralatan listrik yang bertegangan tinggi (Tobing, 2012).

2.1.1 Karakteristik Isolator

Karakteristik isolator secara umum dapat ditinjau dari dua segi yaitu, segi elektrik dan segi mekanis:

1. Dalam segi elektrik Isolator berfungsi untuk mengisolasi konduktor aktif dari rangka penopang yang disematkan, mencegah aliran arus melalui rangka penopang. Namun, ada dua hal yang bisa menyebabkan sistem isolasi berhenti bekerja. Kegagalan listrik isolator dipengaruhi oleh kelembaban dan polusi udara. Pencemaran udara ini menyebabkan munculnya lapisan pencemar. pada permukaan isolator. Kontaminasi polusi pada permukaan isolator mengakibatkan permukaan lebih konduktif, sehingga memungkinkan arus mengalir pada permukaan isolator. Fenomena munculnya arus listrik di permukaan dapat mengakibatkan kegagalan pada isolator. Ada dua jenis kegagalan dalam sistem isolasi, yaitu tegangan flashover dan tegangan tembus dielektrik yang menyebabkan kegagalan isolasi. Fenomena flashover dapat mencegah isolator kembali ke posisi semula dan menyebabkan kerusakan mekanis pada beberapa isolator. Dalam hal ini, busur memanaskan permukaan isolator dan menyebabkan korsleting.



2. Dalam segi mekanis isolator memiliki sebuah kemampuan untuk menahan beban mekanis yang dapat menyebabkan isolator tersebut rusak. Kemampuan tersebut dinyatakan dalam tiga keadaan beban yaitu, kemampuan mekanis untuk menarik, kemampuan mekanis untuk menekan, serta kemampuan mekanis untuk menekuk. Kemampuan mekanis isolator tersebut didapatkan dari beban kawat penghantar atau konduktor (Kusumaningrum, 2017)

2.1.2 Bahan Penyusun Isolator

Salah satu faktor yang mempengaruhi sebuah kemampuan elektrik dan mekanis suatu isolator adalah jenis bahan penyusun isolator yang digunakan. Secara umum jenis isolator yang paling banyak digunakan adalah isolator porselin dan isolator polimer .

a. Isolator Polimer



Gambar 2.1 Isolator Polimer

Isolator Polimer merupakan isolator yang terdiri dari molekul makro rantai Panjang dengan ulangan unit monomer yang biasanya diberi nama awalan poly pada muka monomer. Isolator jenis terbuat dari beberapa bahan polimer seperti : *silicone rubber*, *ethylene propylene rubber (EPR)*, *epoxy resins*. isolator dengan bahan polimer memiliki sifat hidrobik yang sangat baik serta memiliki massa jenis yang lebih rendah dari isolator porselin, selain itu bahan yang digunakan di isolator polimer sangat rapat sehingga tidak terdapat lubang pada permukaan isolator yang berguna untuk menahan



kontaminan dan polusi kotoran yang dapat menempel pada isolator. Namun isolator polimer memiliki kekurangan pada sisi mekanis yang lebih rendah dibandingkan dari isolator porselin. Serta isolator jenis ini rentan terhadap perubahan cuaca ekstrim yang dapat menyebabkan penebaran pada lapisan permukaan pada isolator akibat dari paparan radiasi UV atau korona, yang menghasilkan hilangnya sifat hidrofobik pada isolator.

b. Isolator Porselin



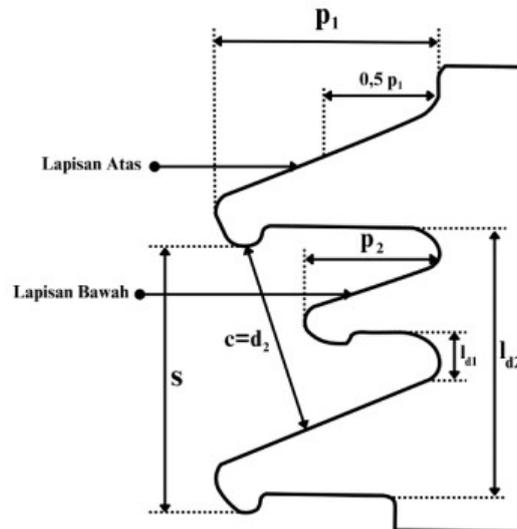
Gambar 2.2 Isolator Porselin

Bahan penyusun isolator porselin terdiri dari bahan campuran seperti tanah porselin, veld spt, kwarts. Pada bagian permukaan pada isolator, dilapisi oleh bahan glazuur agar isolator tersebut tidak memiliki pori-pori pada permukaannya. Isolator porselin memiliki kekuatan dielektrik yang cukup tinggi serta memiliki kekuatan mekanis yang kuat. Kekuatan dielektris pada bahan isolator ini lebih stabil karena adanya ikatan ionic yang kuat antar atom sehingga tidak mudah mengalami kerusakan akibat faktor lingkungan sehingga lebih awet. Disisi lain isolator porselin sangat rentan mengalami keadaan treeing akibat adanya void pada bahan, sehingga arus dapat melewati celah-celah pada bahan. Isolator inipun lebih mudah mengalami gangguan karena sifat hidrofobik yang rendah sehingga kontaminan



atau polutan polusi dapat dengan mudah menempel pada permukaan isolator porselin (Kusumaningrum, 2017; Pratiwi, 2013).

2.1.3 Parameter Geometris Isolator



Gambar 2.3 Parameter Geometris Isolator

Keterangan:

- C = Jarak minimum antar sirip
- d = Jarak bebas
- S = Jarak spasi antar sirip
- P = Rentang sirip
- l_d = Jarak rambat
- α = Kemiringan sirip

Sebuah parameter geometris isolator dapat dilihat pada Gambar 2.3, merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam proses pengamatan pembentukan polusi polutan semen, dimana parameter tersebut mencakup; jarak antar sirip, rentangan sirip, kemiringan sirip, perbandingan jarak rambat dengan jarak bebas, faktor jarak rambat, dan faktor profil. Hal yang paling mempengaruhi pembentukan polutan pada permukaan isolator adalah (Zaenurohman, 2018):



1. Kemiringan sirip (α)

Kemiringan sirip dapat mempengaruhi endapan polutan yang terbentuk pada permukaan isolator, dimana isolator dapat melakukan *self cleaning* jika permukaan atas isolator membentuk sudut lebih besar dari 5°

2. Faktor jarak rambat (creepage faktor/CF)

Parameter ini diperlukan jika isolator terdiri beberapa gabungan isolator, dimana parameter ini menunjukkan karakteristik isolator keseluruhan:

$$CF = \frac{I_t}{S_t} \quad (1)$$

Keterangan:

I_t = jarak rambat total

S_t = jarak terpendek logam yang dikenakan tegangan normal

Harga CF dianjurkan tidak lebih besar dari 3,5 di daerah yang mempunyai tingkat polusi I dan II, dan CF tidak lebih besar dari 4 untuk daerah yang memiliki tingkat polusi III dan IV.

3. faktor profil (PF)

Faktor profil adalah perbandingan jarak bocor yang disederhanakan (I_S) dengan jarak rambat isolasi yang sebenarnya (I_a) yang diukur antara dua yang ditetapkan sebagai spasi (S).

$I_S = 2P + S$ untuk isolator satu ukuran sirip

$I_S = 2P_1 + 2P_2 + S$ untuk isolator sirip berselang-selang

Sehingga, untuk isolator yang memiliki satu ukuran sirip:

$$PF = \frac{2P+S}{I_a} \quad (2)$$

dan Isolator dengan sirip yang berselang-seling:

$$PF = \frac{2P_1 + 2P_2 + S}{I_a} \quad (3)$$



Hubungan dengan tingkat polusi, dimana harga PF yang dianjurkan sebagai berikut :

PF lebih besar dari 0,8 pada tingkat polusi I dan II.

PF lebih besar dari 0,7 pada tingkat polusi III dan IV.

2.2 Jenis Gangguan

Isolator berfungsi sebagai pemisah bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan, agar tidak terjadi *flash over* (lompatan listrik) atau *spark over* (percikan listrik). Dimana kegagalan pada suatu isolasi pada peralatan tegangan tinggi maupun tegangan menengah yang terjadi saat alat bekerja, dapat menyebabkan kerusakan pada alat tersebut yang berimbas pada gangguan pada sistem kelistrikan.

Dalam beberapa kasus kegagalan isolasi berkaitan dengan adanya *partial discharge* atau peluahan sebagian pada isolator. Peluahan sebagian merupakan sebuah peristiwa dimana terjadi peluahan listrik lokal yang menghubungkan isolasi diantara dua konduktor, dimana peluahan terjadi pada permukaan atau pada bahan isolasi. Peristiwa peluahan diawali dengan pelepasan atau loncatan muatan listrik pada sebagian kecil isolasi pada sistem listrik dan tidak memisahkan ruang antara kedua konduktor secara baik. Berdasarkan peristiwanya, peluahan dapat dikategorikan berdasarkan lokasi kejadian, yaitu peluahan rongga, peluahan permukaan dan peluahan korona (Jumari et al., 2020).

2.2.1 Peluahan Rongga

Peluahan rongga atau void discharge merupakan peluahan yang terjadi akibat adanya gelombang udara pada sebuah bahan dielektrik. Secara umum kekuatan isolasi gas (gelembung udara) yang ada jauh lebih kecil daripada isolasi padat. Bahan dielektrik dapat mengalami tekanan listrik, dimana gas tersebut akan memikul tekanan dari medan listrik yang lebih besar dibanding isolasi padat.



2.2.2 Peluahan Permukaan

Peluahan permukaan atau *surface discharge* merupakan peluahan yang dapat terjadi pada daerah tertentu yang berhubungan secara langsung dengan permukaan dielektrik, sehingga daerah tersebut menimbulkan medan listrik berlebih yang menyebabkan terjadinya peluahan. Potensi terjadinya peluahan ini sangat mungkin terjadi apabila kekuatan permukaan bahan dielektrik lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan isolasi yang mengalami kontak langsung dengan bahan dielektrik isolator.

2.2.3 Peluahan Korona

Peluahan korona atau *corona discharge* merupakan peluahan akibat adanya peristiwa percepatan dari proses ionisasi dibawah tekanan medan listrik yang mengakibatkan perubahan struktur atom netral yang disebabkan oleh benturan elektron bebas dengan atom netral pada udara.

2.3 Polusi Pada Isolator

Isolator merupakan peralatan listrik yang kebanyakan terdapat pada ruang-ruang terbuka pada sekitaran gardu induk atau kawasan pembangkit, hal tersebut yang membuat isolator mudah terkontaminasi oleh partikel asing yang mampu mempengaruhi kinerja isolator, salah satu contohnya adalah polutan yang dapat mengganggu nilai tahanan pada isolator. Polutan dapat menempel pada permukaan isolator yang dapat mempengaruhi konduktivitas pada isolator yang terkontaminasi secara langsung, hal tersebut jika dibiarkan dapat menyebabkan sebuah kegagalan berupa tegangan tembus atau arus bocor pada isolator.

2.3.1 Sumber Polusi Pada Isolator

Secara umum, polusi pada isolator dapat dibagi menjadi 4 kategori menurut (Amali, 2010)

a. Polusi dari Laut

Faktor yang mempengaruhi tingkat polusi dari laut adalah jarak lokasi isolator dari laut. Makin jauh laut makin sedikit



penumpukan lapisan pengotor, polusi ini terbawa oleh angin ke permukaan isolator. Zat polutan berasal dari laut dapat berupa komponen konduktif yang mampu larut, terdiri dari garam-garam seperti Magnesium Chlorida ($MgCl$), Natrium Nitrat ($NaNO_3$), dan Natrium Chlorida ($NaCl$).

b. Polusi dari Industri

Polutan Jenis ini sangat beragam jika dilihat dari komposisi kimia serta bisa membentuk lapisan yang dapat menempel kuat pada permukaan isolator seperti debu dari pabrik semen, jelaga, serta asap dari cerobong pabrik.

c. Polusi dari Daerah Padang Pasir

Timbunan polutan tak larut atau dikenal sebagai (NSDD = nonsoluble Deposit density) pada sebuah daerah padang pasir umumnya lebih banyak daripada daerah polusi laut. Namun pada daerah tertentu sering juga didapati kombinasi dari kedua daerah tersebut seperti daerah berpasir dekat pantai. Garam laut dapat menempel pada permukaan isolator yang terlapisi oleh debu yang terbawa oleh angin pada padang pasir, dimana pada daerah tersebut besarnya ESDD dan NSDD bisa melebihi $1,0 \text{ mg/cm}^2$.

d. Polusi dari Gunung Berapi

Polutan yang berasal dari letusan gunung berapi mempunyai beragam bentuk ukura dengan senyawa utama alumina (Al_2O_3) dan silikat (SiO_2). Nilai NSDD pada daerah ini dapat mencapai dan $0,8 \text{ mg/cm}^2$ (Amali, 2010).

Berikut ini merupakan tingkatan paparan polusi berdasarkan sumber menurut (SPLN 10-3B, 1993)

Tabel. 2.1 Tingkat Polusi Berdasarkan Lingkungan.

Tingkat Polusi	Ciri Lingkungan
I – Ringan	- Kawasan tanpa industri dan kepadatan rumah rendah yang dilengkapi sarana pembakaran.



	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan dengan kepadatan industri rendah atau kepadatan rumah rendah tapi sering terkena angin dan/atau hujan. - Kawasan pertanian. - Kawasan pegunungan. - Kawasan industri yang tidak secara khusus menghasilkan asap polusi dan/atau dengan kepadatan rumah sedang yang dilengkapi sarana pembakaran.
II – Sedang	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan dengan kepadatan rumah tinggi dan/atau kepadatan industri tinggi, tapi sering terkena angin dan/atau hujan. - Kawasan terbuka bagi angin dari laut, tapi tidak dekat dengan laut. - Kawasan dengan kepadatan industri tinggi dan di pinggir kota besar dengan kepadatan sarana pembakaran tinggi yang menghasilkan polusi.
III – Berat	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan dekat laut atau dalam setiap keadaan terbuka bagi hembusan angin yang relatif kencang dari laut. - Kawasan yang umumnya luasan cukup, terkena debu konduktif dan asap industri yang khususnya menghasilkan endapan konduktif tebal.
IV – Sangat Berat	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan yang umumnya luasan cukup sangat dekat dengan laut atau hembusan angin yang sangat kencang dan terpolusi dari laut. - Kawasan padang pasir yang tidak ada hujan dalam jangka waktu yang lama, terbuka bagi angin kencang yang membawa pasir dan garam serta terkena kondensasi yang tetap.

2.3.2 Sifat polutan Pada Isolator.

Berdasarkan sifatnya polutan dapat dibagi menjadi 2 menurut (Steven, 2008), yaitu :

a. Polutan Inert

Polutan jenis ini mempunyai sifat yang lembam atau dapat juga dikatakan sebagai zat padat yang menjadi ion karena terurai yang



mampu mempengaruhi nilai tahanan pada isolator. Contoh jenis dari polutan inert ini yaitu SiO_2 tanah liat (kaolin) yang dapat membentuk ikatan mekanis yang menyebabkan komponen konduktif terikat sehingga dapat berpengaruh pada nilai tahanan isolator, sebab ikatan mekanis inilah yang membuat permukaan pada isolator sulit untuk dibersihkan.

b. Polutan Konduktif

Polutan jenis ini bersifat konduktif atau dapat menghantarkan arus listrik yang mampu menurunkan nilai tahanan pada permukaan isolator, Adapun jenis-jenis polutan yang dapat bersifat konduktif yaitu MgCl , Na_2SO_4 , NaCl , dan sebagainya. Penurunan nilai tahanan pada permukaan isolator disebabkan oleh kandungan garam yang mudah terurai menjadi ion sehingga dapat bersifat konduktif pada permukaan isolator.

2.3.3 Pembentukan Polutan Pada Isolator

Polutan yang bersifat lembam maupun yang bersifat konduktif Sebagian besar dibawa oleh angin ke permukaan isolator, selain itu medan elektrostatis dapat mempengaruhi pengumpulan partikel yang dibawa oleh angin pada bagian isolator yang sedang mengalami stress tegangan yang cukup tinggi, dimana medan elektrostatis akan mengikat partikel melalui polarisasi ketika partikel tersebut menyentuh permukaan isolator, sehingga dapat terlihat jelas pengaruhnya pada isolator tegangan tinggi arus searah dengan polaritas yang sama.

Pemanasan oleh arus bocor yang sedang mengalami stress tegangan yang tinggi pada isolator dapat menghalangi proses pencucian oleh alam ketika hujan serta akan mempertinggi zat pengotor pada permukaan isolator, selain itu larutan asam lemah pada permukaan isolator di daerah industri dapat mengikis permukaan isolator, Keadaan ini juga dapat menyulitkan pencucian secara alamiah pada isolator (Steven, 2008).

Berikut ini gaya yang dapat mempengaruhi pembentukan polutan pada permukaan isolator, yaitu:



a. Gaya Gravitasi

Gaya ini sangat berpengaruh pada pembentukan lapisan polutan pada permukaan isolator

$$F = m \cdot g \quad (4)$$

Dimana:

m = Massa partikel

g = Gravitasi bumi

b. Gaya Angin

Gaya angin dapat sangat berpengaruh dalam membawa partikel - partikel polutan yang bebas di udara menuju isolator.

$$F = 3\pi\mu d \cdot v \quad (5)$$

Dimana:

μ = Koefisien gesek antara partikel dengan udara

d = Diameter partikel

v = kecepatan angin

c. Gaya Elektrostatis

Gaya Elektrostatis terbentuk oleh adanya medan listrik pada sekitaran permukaan isolator.

$$F = E \cdot q \quad (6)$$

Dimana:

E = Kuat medan listrik

q = Muatan partikel



2.3.4 Karakteristik Debu Semen

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Azmi A, 2014) yang berjudul Karakteristik Fisik Debu Jatuh dan Partikel Tersuspensi dari Industri Semen, Pengolahan Kayu, dan Pembakaran Batu Kapur Di Bogor, dimana pada debu semen memiliki permukaan yang tidak rata dan berbentuk bulat yang saling menumpuk dan menyatu, sebagian lainnya berbentuk lonjong dan berbentuk tidak beraturan. Partikel debu memiliki ikatan yang kuat antar partikel yang disebabkan oleh sifat dari higroskopis semen, yang menyebabkan debu semen mudah menyerap air. dimana ukuran debu semen yang jatuh sekitar 85% debu berukuran 0 – 2,5 μm .

Secara umum produksi semen menggunakan metode *pyro-processing selected* pada bahan baku yang disiapkan. Terdapat 4 komponen bahan kimia utama yaitu batu kapur, alumina, oksida besi (biji besi), dan pasir kwarsa, yang digunakan pada pembuatan semen portland, sedangkan untuk memperlambat pengerasan semen ditambahkan *gyps* pada tahap penggilingan, serta pada proses pembakaran menggunakan batu bara ataupun bahan campuran seperti sekam padi (Azmi A, 2014).

2.4 Pengaruh Paparan Polusi Semen Terhadap Isolator

Isolator yang terpolusi oleh polutan semen mampu mempengaruhi fungsi isolator dalam mengisolasi listrik, dimana hal ini disebabkan oleh terbentuknya lapisan polutan pada permukaan isolator yang dapat mengakibatkan tegangan tembus pada isolator. Polutan yang menempel pada isolator berupa deposit polutan larut (ESDD) atau deposit polutan tak larut (NSDD) (Amali, 2010).

Kontaminasi yang bersifat konduktif ataupun kontaminasi yang bersifat lembab kebanyakan dibawa oleh angin ke permukaan isolator dimana arah dan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan endapan polutan pada isolator. Endapan polutan ini dapat menimbulkan arus bocor pada permukaan isolator dimana arus bocor dapat bertambah besar jika udara dalam keadaan lembab. Arus bocor dapat menimbulkan loncatan busur api pada permukaan sehingga sistem dapat mengalami gangguan.



Jika suatu isolator memiliki lapisan polutan yang bersifat konduktif yang tersebar pada setiap titik pada permukaan isolator, dan lapisan pengotor (Polutan) dengan tebal h , maka konduktifitas permukaan isolator didefinisikan :

$$\sigma_s = \sigma \cdot h \quad (7)$$

Dimana " σ " merupakan konduktifitas spesifik, sehingga resistivitas permukaan dapat dirumuskan menjadi:

$$\rho_s = \rho/h \quad (8)$$

Serta tahanan total permukaan, yaitu:

$$R = \rho \cdot l / A$$

$$dR = \rho \frac{dl}{\pi [(r+h)^2 - r^2]}$$

$$dR = \rho \frac{dl}{\pi [2rh - h^2]}$$

jika lapisan pengotor yang tipis ($h \ll r$), maka:

$$dR = \rho_s h \frac{dl}{2\pi r h}$$

$$dR = \rho_s h \frac{dl}{2\pi r}$$

Untuk jarak lapisan L , tahanan permukaan total adalah:

$$R = \int_0^L dR$$

$$R = \rho_s \int_0^L \frac{dl}{2\pi r}$$

$$R = \rho_s \int_0^L \frac{dl}{\pi D} \quad (9)$$

Dimana:

L = Jarak rayap permukaan

dl = elemen jarak rayap permukaan

eter permukaan



2.5 Pengaruh Terjadinya Flashover pada Isolator

Dalam penggunaan isolator yang berfungsi untuk mengisolasi suatu konduktor bertegangan dengan suatu penyangga yang di bumikan, dimana ada dua hal yang menyebabkan kegagalan isolasi pada isolator yaitu terjadinya tembus listrik pada udara sekitar permukaan isolator yang biasa disebut dengan lewat-denyar atau *Flashover* dan tembus Listrik pada isolator yang menyebabkan isolator tersebut rusak. Kegagalan pada isolator disebabkan oleh bahan dielektrik pada isolator mengalami peristiwa tembus tegangan (*breakdown*) akibat terjadinya lewat-denyar pada permukaan isolator. Karakteristik dari Listrik tidak dapat pulih seperti semula dan sebagian dari isolator akan terdampak akan mengalami kerusakan jika terpapar secara terus-menerus oleh busur api yang menimbulkan pemanasan pada permukaan isolator serta menimbulkan hubung singkat fasa ke tanah dimana hal tersebut diakibatkan oleh peristiwa *flashover*, sehingga isolator akan mengalami kerusakan dan tidak dapat lagi digunakan kembali.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi ketahanan isolator terhadap *flashover*, seperti bahan material dan lingkungan. menurut (Kataria N & KetanTiwari, 2018), dimana penurunan tegangan flashover pada isolator tergantung pada jenis polusi, jenis isolator, dan pemeliharanya. Seperti pada pengujian *flashover* yang dilakukan oleh (Taryo dkk., 2023) pengujian *flashover* pada isolator tersebut menguji bahan isolator tipe *silicone rubber* dan resin epoksi dalam keadaan basah dan kering, menunjukkan bahwa isolator tipe *silicone rubber* memiliki kecenderungan nilai *flashover* yang cukup tinggi dibandingkan dengan isolator tipe resin epoksi, hal tersebut disebabkan oleh perbedaan penggunaan bahan material pada isolator dan jarak rayap. Selain itu, isolator dalam keadaan basah memiliki nilai *flashover* yang cukup rendah dibandingkan isolator dalam keadaan kering yang memiliki nilai nilai *flashover* cenderung tinggi.

Selain itu terdapat metode lain yang digunakan untuk mengukur ketahanan bahan dielektrik pada isolator yaitu dengan pengujian ketahanan (*withstand test*) yang merupakan pengujian tegangan tinggi yang dilakukan dengan memberi pada suatu objek uji, hingga tegangan nominal tersebut mencapai nilai yang lebih tinggi dari tegangan nominalnya pada waktu tertentu, dimana out berfungsi untuk melihat ketahanan sebuah bahan dielektrik yang baik



apabila dapat menahan tegangan yang cukup lama tanpa harus mengalami peristiwa kegagalan isolasi (Taryo dkk, 2023).

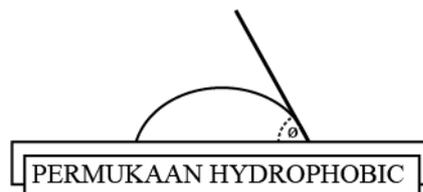
2.6 Permukaan Hydrophilic dan Hidrophobic

Dalam evaluasi pembasahan (*wettability*) dari suatu material padat, pengukuran sudut kontak permukaan merupakan suatu besaran yang bisa mewakili derajat *wettability* tersebut.

Berdasarkan responnya terhadap tetesan air, bisa dibagi dalam dua jenis, yaitu permukaan material padat bisa diklasifikasikan dalam dua jenis yaitu permukaan *hidrophobic* dan permukaan *hydrophilic*. Sudut kontak pada dua jenis permukaan tersebut secara teoritis bisa digambarkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Permukaan Hydrophobic



Gambar 2.5 Permukaan Hidrophilic

Sudut kontak digunakan secara umum untuk mempresentasikan derajat pembasahan, karena cara dari pengukuran yang mudah. Dari hal diatas terlihat bahwa semakin besar sudut kontak maka permukaan tersebut semakin *hydrophobic*. Isolator porselin mempunyai sifat *hydrophilic* sedangkan isolator polimer permukaannya bersifat *hydrophobic*.

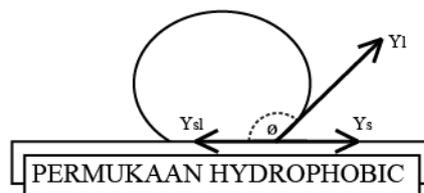
Sudut kontak permukaan dan energi bebas permukaan dari suatu material ara kuantitatif berhubungan dengan persamaan Young.

$$Y_s = Y_{sl} + Y_l \cos\theta \quad (10)$$

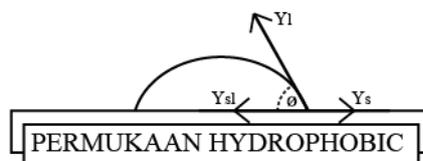


Dengan θ adalah sudut kontak. Sedangkan Y_s , Y_l dan Y_{sl} Berturut turut. Adalah energi bebas permukaan per unit area dari material padat, material cair dan material padat- material cair. Gambar 2.4 dan 2.5 menunjukkan Y_s , Y_l dan Y_{sl} pada permukaan hydrophobic dan hydrophilic.

Persamaan tersebut menunjukkan keseimbangan dari Y_s , Y_l dan Y_{sl} pada bidang kontak. Tetesan air dapat mengatur bentuknya secara otomatis dengan cara mengatur besarnya sudut kontak sampai tercapai keseimbangan.



Gambar 2.6 Keseimbangan energi pada permukaan hydrophobic.



Gambar 2.7 Keseimbangan energi pada permukaan hydrophilic.

Sebagai contoh, pada suatu permukaan dengan energi bebas permukaan yang tinggi seperti pada permukaan logam, gelas dan porselin, komponen Y_s lebih besara daripada Y_{sl} . Tetes air akan menyebar secara perlahan dan menurunkan sudut kontak sampai jumlah dari Y_{sl} dan $Y_l \cos\theta_1$ sama dengan Y_s seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7 sebaliknya pada permukaan dengan energi bebas permukaan rendah, seperti pada permukaan silicon rubber, Y_s lebih kecil daripada Y_{sl} tetes air akan mengumpul dan menaikkan sudut kontak untuk merubah arah proyeksi dari Y_l sampai jumlah Y_s dan harga mutlak dari $Y_l \cos\theta_1$ sama dengan Y_{sl} seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6



dasarakan besaran sudut yang terbentuk pada permukaan dapat asikan menjadi 3 besar (Zulkaida, 2003):

1. Bahan yang bersifat basah (*Hydrophilic*) yaitu memiliki sudut kontak cairan dengan permukaan bahan isolasi kurang dari 30 derajat.
2. Bahan yang bersifat basah sebagian (*Partially wetted*) yaitu memiliki sudut kontak cairan dengan permukaan bahan isolasi pada interval 30 hingga 89 derajat.
3. Bahan yang bersifat tidak basah (*hydrophobicity*) yaitu memiliki sudut kontak cairan dengan permukaan bahan isolasi lebih besar 90 derajat.

2.7 Pengukuran Perbandingan Kinerja Pada Isolator

2.7.1 Pengukuran Unsur dan Senyawa Polutan pada isolator

Dalam memahami sebuah kandungan pada material, dapat diketahui melalui sebuah pengamatan terhadap susunan atom pada suatu unsur yang terdapat pada material tersebut, dimana dalam mengetahui hal itu digunakan teknologi sinar-X dalam menganalisis struktur internal yang berada dalam substansi seperti fasa dan struktur kristal.

Salah satu pengukuran sinar-X memanfaatkan sebuah fenomena difraksi pada interaksi dua gelombang atau lebih, dimana melalui peristiwa difraksi tersebut menghasilkan beberapa informasi terkait struktur kristal, ukuran butir ataupun partikel, serta fasa pada suatu objek sampel. Analisis tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan difraksi yang disebut dengan nama difraktometer sinar-X atau biasa juga lebih dikenal dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) (Handoko E dkk., 2008).

Untuk mengetahui komposisi unsur pada suatu material digunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) yang merupakan teknik analisa non-destruktif dalam mengidentifikasi sebuah unsur pada material dengan menggunakan emisi fluoresensi yang dihasilkan oleh sinar-X, dimana setiap unsur memiliki tingkat energi fluoresensi yang khas, sehingga dengan mendeteksi intensitas sinar-X fluoresensi tersebut dapat ditentukan keberadaan unsur-unsur yang terkandung pada suatu material.



2.7.2 Pengukuran Konduktifitas Larutan

Pengukuran konduktifitas larutan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai konduktifitas pada suatu larutan yang terdapat pada polutan isolator yang diukur, dengan cara mengetahui konduktivitas larutan pengotor isolator terlebih dahulu dengan melarutkan pelarut polar H₂O yang berasal dari uap serta membekukan larutan elektrolit. Konduktifitas larutan elektrolit akan semakin meningkat seiring dengan naiknya ESDD larutan pengotor (Aulia, 2010) . Hubungan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\sigma_s = ESDD (HR)(T - T_r) \quad (11)$$

Keterangan:

- σ_s = Konduktivitas larutan pengotor ($\mu S / cm^2$)
 HR = Kelembaban relative (%)
 $ESDD$ = Equivalent Salt Deposit Density (mg / cm^2)
 T = Temperatur ($^{\circ}C$)
 T_r = Temperatur Refrensi ($^{\circ}C$)

2.7.2 Pengukuran Sudut Kontak

Dalam pengukuran sudut kontak antara air dan permukaan horizontal material padat, ada tiga metode yang sering digunakan. Metode pertama adalah mengukur sudut kontak θ langsung dengan menggambar garis singgung pada titik kontak seperti pada Gambar berikut 2.8.a. sedangkan pada metode kedua dengan mengukur tetesan h dan diameter dasar dari tetesan d seperti pada gambar 2.8.b. dan selanjutnya sudut kontak θ dan volume V dapat dihitung dengan rumus:

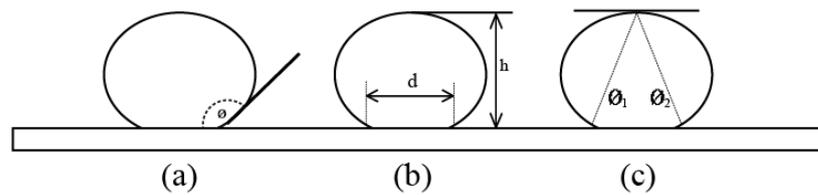
$$\theta = 2 \operatorname{tg}^{-1} (2h/d)$$

$$V = 3,14 h^2 (3r - h) / 3$$

dengan $r = d / 2\sin\theta$ metode ketiga dengan mengukur sudut θ_1 dan θ_2 seperti pada Gambar 2.8.c. dan selanjutnya sudut θ dapat dihitung dengan menjumlahkannya.

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 \quad (12)$$





Gambar 2.8 Tiga metode untuk pengukuran sudut kontak

Metode pertama didasarkan pada definisi dari sudut kontak, sehingga Pada penelitian ini digunakan metode pertama pada kedua sisi tetes air (Putra, 1998).

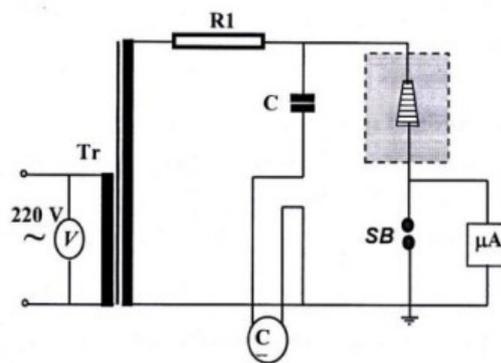
2.7.3 Pengukuran Flashover

Pengukuran konduktivitas permukaan isolator dilakukan untuk mengetahui perbandingan kinerja isolator porselin dan isolator polimer dibawah terpaan polusi semen, dimana pengukuran isolator diukur dalam 4 kondisi keadaan (Manjang & Herman, 2007), Yaitu :

1. Kondisi Isolator dalam keadaan bersih-kering (BK)
2. Kondisi isolator dalam keadaan bersih-basah (BB)
3. Kondisi isolator dalam keadaan terpolusi-kering (TK)
4. Kondisi isolator dalam keadaan terpolusi-basah (TB)

Prosedur dan skema dari eksperimen pengukuran konduktivitas permukaan isolator pada kondisi bersih-kering (BK) dan bersih-basah (BB) dengan menggunakan masing-masing 2 buah isolator polimer dan isolator porselin dan diambil harga rata-ratanya, sedangkan pengukuran isolator pada kondisi terpolusi-kering (TK) dan terpolusi-basah (TB) menggunakan masing-masing 2 buah isolator polimer dan isolator porselin, serta menggunakan polutan semen 100 gram/liter sampai 300 gram/liter. Pembentukan lapisan polutan pada isolator menggunakan metode pengaliran (flowing) atau pencelupan (dipping).





Gambar 2.9 Rangkaian pengujian Flashover dan Arus Bocor

Skema Pengukuran tegangan flashover dapat ditunjukkan pada Gambar 2.9, dimana pengukuran menggunakan alat ukur tegangan yang bersumber dari dua buah trafo bertegangan tinggi yang dipasangkan secara dekade, dimana masing-masing trafo tersebut mampu menghasilkan tegangan maksimum sebesar 100 kV dengan daya masing-masing 5 kVA. Objek sampel uji yang telah dirangkai kemudian dihubungkan dengan trafo tegangan tinggi secara paralel (Aulia, 2010).

