

PERANCANGAN DAN PENGUKURAN ALAT PENENTU KADAR LOGAM PADA ISOLATOR AKIBAT KONTAMINASI OLEH POLUTAN

R. Ahmad Cholilurrahman, Eri Setyawan dan Rudi Irmawanto

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya

Jl. Sutorejo No.59, Dukuh Sutorejo, Mulyorejo, Surabaya, Jawa Timur 60113

e-mail : cholilurrahman_r@yahoo.com

ABSTRAK

Kondisi isolator pada musim panas (kering) sering dihindangi oleh debu atau material lain yang halus dan menempel pada isolator tersebut untuk jangka waktu sampai adanya musim hujan, adanya debu atau material yang menempel pada isolator tersebut menyebabkan terjadinya kontak fisik antara bahan isolator sendiri dengan bahan polutan yang ada. Jika ini terjadi cukup lama akan ada peristiwa senyawa yang bersifat kimiawi sehingga menimbulkan kontaminasi dan menyebabkan isolator tersebut daya tahannya menurun. Selama ini, PT PLN (Persero) sebagai pemilik hanya melakukan pemeliharaan dengan cara menyemprotkan isolator yang berdebu dengan air supaya terlihat bersih dan tidak kotor. Padahal sifat bahan yang terkontaminasi dan menempel pada isolator kemungkinan masih ada dan belum sepenuhnya bersih secara fisik dan kimia. Sebagai evaluasi digunakan pengukuran parameter-parameter tingkat kekotoran isolator, dilaksanakan dengan mengambil sampel di lapangan antara lain : di daerah bergaram seperti pantai kenjeran Surabaya, di kawasan polusi pabrik, Sentral Industri daerah Rungkut dan Tandes Surabaya, di jalan raya protokol, jalan di kawasan bisnis dengan polusi asap kendaraan yang tinggi (jalan Raya Darmo dan sejenisnya) di Surabaya. Hasil akhir menunjukkan bahwa : (1).

Sampel polutan kawasan pantai memiliki nilai konduktifitas terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri, (2). Sampel polutan kawasan pantai memiliki nilai timbunan garam ekuivalen terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri, (3). Sampel polutan kawasan industri memiliki nilai kandungan besi dan kandungan tembaga terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri.

Kata Kunci : *Isolator Pin-Post, Kegagalan Isolator, Equivalent Salt Deposit Density*

I. PENDAHULUAN

Kondisi isolator pada musim panas (kering) sering dihindangi oleh debu atau material lain yang halus dan menempel pada isolator tersebut, untuk jangka waktu sampai adanya musim hujan, adanya debu atau material yang menempel pada isolator tersebut menyebabkan terjadinya kontak fisik antara bahan isolator sendiri dengan bahan polutan yang ada. Jika ini terjadi cukup lama akan ada peristiwa senyawa yang bersifat kimiawi sehingga menimbulkan kontaminasi dan menyebabkan isolator tersebut daya tahannya menurun. Selama ini, PT PLN (Persero) sebagai pemilik hanya melakukan pemeliharaan dengan cara menyemprotkan isolator yang berdebu dengan air supaya terlihat bersih dan tidak kotor. Padahal sifat bahan yang terkontaminasi dan menempel pada isolator kemungkinan masih ada dan belum sepenuhnya bersih secara fisik dan kimia, Untuk itu perlu diadakannya penelitian.

Untuk mengkaji keadaan isolator di atas, diperlukan suatu alat ukur untuk mengetahui konduktivitas isolator, kepadatan timbunan garam ekuivalen pada isolator serta kandungan logam dalam polutan dengan spectra foto meter.

Untuk membeli peralatan tersebut sangat mahal, tujuan tahapan pertama dalam penelitian ini adalah mengukur konduktivitas pada isolator, mengukur kepadatan timbunan garam ekuivalen pada isolator serta mengukur kandungan logam dalam polutan dengan peralatan spectra foto meter dan peralatan pendukung lainnya. Tahapan kedua adalah bertujuan untuk mendesain dan merancang peralatan pengukuran tingkat kekotoran isolator akibat kontaminasi oleh polutan. Peralatan yang akan dirancang tersebut dapat digunakan untuk mengukur konduktivitas pada isolator, mengukur kepadatan timbunan garam ekuivalen pada isolator serta mengukur kandungan logam pada polutan dalam satu kesatuan peralatan yang kompak.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator terdiri dari bahan porselin yang diapit oleh elektroda - elektroda dengan demikian isolator terdiri dari sejumlah kapasitansi – kapasitansi diperbesar oleh terjadinyalapisan yang menghambat listrik karena kelembaban udara, debu, dan lain-lain. Karena kapasitansi ini distribusi tegangan pada gandingan isolator tidak seragam, maka tegangan

diperbaiki dengan memasang tanduk busur api. Tegangan lompatan api pada isolator terdiri dari tegangan lompatan api (*flash over*) frekuensi rendah impuls dan tembus dalam minyak (*Surdia dan saito, 1999*).

Pada isolator tegangan tinggi yang dipasang di daerah-daerah yang banyak mengandung polusi, bahan – bahan kotor yang dapat menyebabkan terjadinya flash over dapat berasal baik dari polusi alam antara lain : es, salju, garam (pengotoran oleh air laut), debu, pasir dan lain-lain. Macam – macam polusi yang dapat menimbulkan flash over adalah debu semm (*cement dust*), abu terbang (*fly ash*), abu garam-garaman (*potash*), kapur (*limestone*), batu tahu (*gypsum*), dan kumpulan bahan-bahan lain (*sirait dan triyono, 1982*). Bahan-bahan polusi ini terdiri dari dua komponen, yaitu : komponen konduktif dan komponen *inert* (*lemban*). Hampir semua komponen konduktif terdiri atas ion – ion garam seperti : *Sodium Chlorida, Magnesium, Sodium Sulfat*, dan lain - lain.

Garam – garam ini ketika berbentuk larutan mempengaruhi tegangan *flash over*, karena memberikan lapisan yang bersifat konduktif pada permukaan isolator. Beberapa komponen konduktif, terutama yang berasal dari pengotoran industri, adalah larutan gas seperti : *Sodium Dioksida*. Polusi dalam bentuk ini sulit untuk dideteksi, karena jika permukaan isolator mengering, gas yang ada akan lenyap. Komponen *inert* adalah suatu bahan padat yang tidak dapat larut sebagai ion – ion, komponen *inert* ini dapat menurunkan ketahanan listrik. Bahan – bahan inert dapat bersifat menyerap air *hidrofilic*, sifat ini dapat menaikkan laju pembasahan isolator. Jenis komponen *inert* (penyerap air) antara lain : lempung (keramik), silica dioksida, dan semen organik. Sedangkan yang termasuk bahan air (*hydroponic*) adalah lemak dan oli, bahan – bahan anti air ini dapat menyebabkan air terpecah menjadi butiran – butiran yang kemudian memecah lapisan konduktif pada permukaan isolator.

2.2 Kegagalan Isolator

Breakdown isolasi dapat terjadi karena kegagalan mekanis yang disebabkan oleh tekanan mekanis yang dihasilkan medan elektrik. Hal ini disebut kegagalan elektro mekanis. Sebaliknya, *brakdown* dapat juga terjadi karena degradasi kimia yang disebabkan oleh pembangkitan panas karena rugi – rugi dielektrik pada bahan isolasi. Proses ini bersifat kumulatif dan lebih berat pada saat kehadiran udara dan kelembaban bahan. Ketika *breakdown* terjadi pada permukaan isolator, mengakibatkan terjadinya *flash over* sederhana atau formasi dari sebuah jalur penghantar pada permukaan. Ketika jalur penghantar terbentuk yang disebut dengan “penjejakan (*tracking*)” dan menghasilkan penurunan bahan *flash over* permukaan umumnya terjadi ketika isolator padat disisipkan pada sebuah elektrik cair. *Flash over* permukaan yang disebut diatas adalah penyebab tingkat kesulitan tertinggi dalam praktek sehari – hari. Isolator

porcelain yang digunakan pada penyaluran tenaga listrik harus dirancang untuk memiliki jalur panjang di atas permukaan. Kontaminasi permukaan dari isolator dielektrik terjadi hampir di semua tempat pada beberapa tingkatan. Pada isolator tegangan tinggi dari porcelin dengan tipe suspensi, panjang jalur di atas permukaan adalah 20 sampai 30 lebih besar dari yang melalui bahan padat. Meskipun demikian, *breakdown* permukaan adalah bentuk kegagalan yang paling utama (*Naidu dan Karnaraju, 1995*)

2.3 Pembasahan Lapisan Kotor Permukaan Isolator

Menurut *Sirait dan Triyono (1982)*, beberapa faktor yang ikut menentukan tingkat polusi adalah uap air lembab pada permukaan isolator. Pembasahan isolator dapat terjadi karena pengembunan terjadi ketika suhu permukaan isolator turun sampai berada di bawah suhu titik embun. Pada cuaca malam yang cerah, permukaan isolator (terutama permukaan atas) kehilangan panas (melalui radiasi ke udara malam) lebih cepat dari pada panas yang diperolehnya dari arus udara. Jika jatuh sampai di bawah titik embun, uap air lembab terbentuk pada permukaan isolator. Penelitian pada isolator yang sedang bertegangan, menunjukkan bahwa peristiwa ini sering terjadi pada dini hari. Pembasahan karena tumbukan butir-butir air dengan permukaan isolator biasanya terjadi pada saat cuaca berkabut atau hujan. Mekanisme pembasahan ini tergantung kepada angin, dan dapat membasahi permukaan bawah isolator lebih efektif dari pada pembasahan dengan pengembunan. Timbunan kotoran (*polusi*) di permukaan isolator yang bersifat *hygroscopic* menyerap uap air udara, akan tetapi tidak terjadi reaksi kimia antara air dengan bahan polusi tersebut. Butir – butir air yang menyentuh permukaan isolator di serap oleh bahan kotoran, dan secara cepat pembasahan ini melebar ke permukaan isolator. Air pada permukaan isolator melarutkan kotoran yang menempel pada permukaan isolator, peristiwa ini menyebabkan konsentrasi larutan pada permukaan isolator berbeda dengan konsentrasi bahan larutan di udara sekitarnya. Difusi diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi ini, dan menarik air ke permukaan isolator. Air yang teresap membuat larutan menjadi encer, hal ini kemudian memperkecil perbedaan yang selanjutnya akan mengurangi laju pengumpulan air. Pembasahan dengan cara difusi kimia ini pengaruhnya dapat diabaikan, jika dibandingkan dengan pembasahan dengan cara pengembunan. Untuk menghasilkan tegangan *flash over* minimum, diperlukan suatu jumlah air yang kritis pada permukaan isolator. Kondisi pembasahan yang kritis umumnya dapat terjadi selama keadaan cuaca berkabut atau hujan rintik-rintik, pada keadaan hujan lebat, jumlah air yang cukup besar dapat membersihkan isolator dari kotoran – kotoran dan dapat menahan untuk sementara waktu terbentuknya pita kering. Jadi memperlambat terjadinya *flash over*.

2.4 Pembentukan Pita Kering (*Dry Band*)

Awal pertumbuhan pita kering pada permukaan isolator kotor kelas diakibatkan oleh adanya “proses peralihan thermal” yang terjadi pada permukaan isolator. Tiga urutan proses pembentukan pita ketiga adalah sebagai berikut : (a) Disipasi dayamenaikkan temperature, kemudian menaikkan konduktansi dengan suatu factor 1,5 sampai 3,5 kali, sampai temperaturnya mencapai titik didih air. (b) Air yang terkandung dalam lapisan kotor diuapkan dalam jangka waktu yang relatif lama, hal ini meredusir ketebalan lapisan kotoran, akan tetapi menaikkan konsentrasi garam dan asam yang dapat memberikan konduktansi yang relatif konstan, (c) Jika kejenuhan telah tercapai, pemanasan lebih lanjut mempercepat pembentukan garam atau penguapan asam dan dengan cepat menaikkan tahanan, kemudian pengeringan lapisan berakhir dan terbentuklah pita kering (*dry band*). Dalam praktek, studi tentang pembentukan pita kering ini sangat rumit, disebabkan adanya pengaruh geometri isolator, ketidakrataan pengotoran dan keanekaragaman lingkungan yang dijumpai. Lapisan polusi pada permukaan isolator yang menjadi basah akan menaikkan arus bocor permukaan pada tegangan operasi dan membuat distribusi tegangan menjadi linier. Daya disipasi oleh arus bocor pada lapisan kotoran basah di permukaan isolator dipergunakan untuk menguapkan uap air dalam lapisan kotoran tersebut, peristiwa penguapan ini merupakan awal dari serangkaian proses pembentukan pita kering. Parameter yang mempengaruhi pembentukan pita kering ini banyak sekali, antara lain : ketebalan lapisan polusi, suhu permukaan maksimum yang dapat dicapai, tahanan lapisan kotoran, waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu maksimum tersebut, jenis bahan substrak, dimensi dan faktor model, nilai tegangan yang dipergunakan, harga arus bocor maksimum yang dicapai, dan lain-lain. Pertumbuhan pitakering terutama tergantung pada suhu permukaan terhadap temperatur (*Sirait dan Triyono, 1982*)

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Tahap penelitian ini, dengan kegiatan mengukur parameter-parameter tingkat kekotoran isolator, dilaksanakan dengan mengambil sampel di lapangan antara lain : di daerah bergaram seperti pantai kenjeran Surabaya, di kawasan polusi pabrik, Sentral Industri daerah Rungkut dan Tandes Surabaya, di jalan raya protokol, jalan di kawasan bisnis dengan polusi asap kendaraan yang tinggi (jalan Raya Darmo dan sejenisnya) di Surabaya.

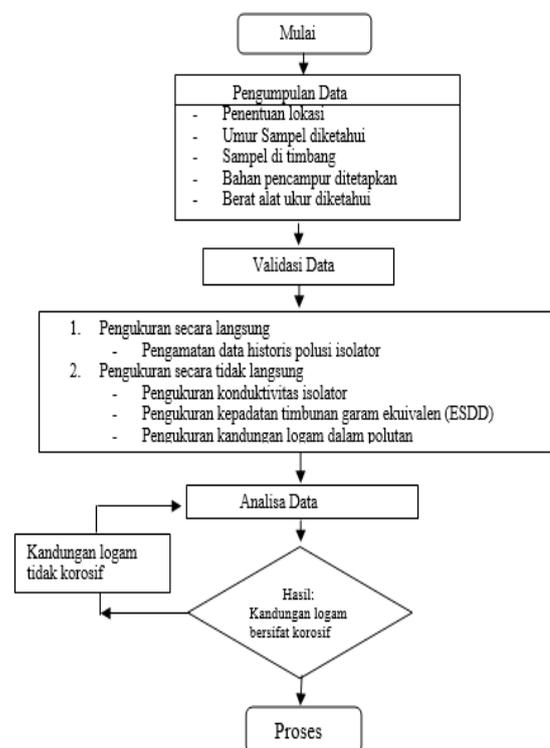
3.2 Tahapan Penelitian

3.2.1 Pengukuran Parameter Tingkat Kekotoran Isolator

Setelah ditentukan lokasi tempat pengambilan sampel polutan, selanjutnya dilaksanakan pengukuran di laboratorium kimia. Adapun pengukuran parameternya, antara lain:

- Pengukuran Konduktivitas Isolator
- Pengukuran Kepadatan Timbunan Garam Ekuivalen (ESDD)
- Pengukuran Kandungan Logam Pada Polutan

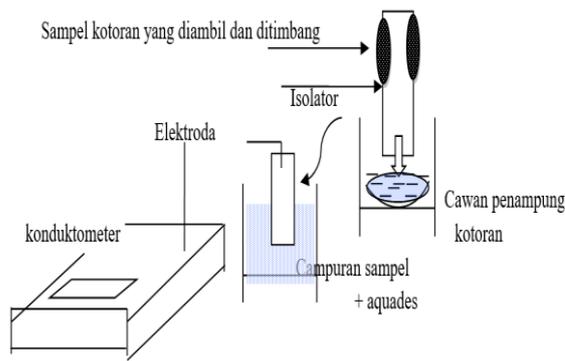
Diagram alir, urutan pengukuran tingkat kekotoran pada isolator akibat kontaminasi oleh polutan, dapat diperlihatkan pada gambar 1 :



Gambar 1 Diagram Alir, Urutan Kegiatan Pengukuran Tingkat Kekotoran Isolator Akibat Kontaminasi oleh Polutan

3.2.2 Pengukuran Konduktivitas Isolator

Sampel kotoran dipindahkan dari isolator – isolator yang bertegangan atau tidak bertegangan atau pengumpul kotoran yang lain (misalnya piringan datar). Pemandahan sampel kotoran tersebut dengan mempergunakan air murni sambil disapu dengan kuas kecil, kemudian kotoran yang tercampur dengan air murni tersebut di ukur konduktivitasnya (Satuan : Siemens : V) dengan memakai konduktometer. Untuk mendapatkan nilai pengukuran yang maksimum, pengambilan nilai sampel kotoran harus berulang – ulang. Periode pengumpulan kotoran diantara terjadinya dua pencucian isolator oleh air hujan (alam) secara berturut – turut.



Gambar 2 Pengukuran Konduktivitas Pada Isolator

Untuk mengetahui konduktivitas dari isolator (lihat gambar: 3.2), dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Lama pengambilan kotoran yang melekat pada isolator \pm 6 bulan
- Kotoran pada isolator kemudian diambil dan ditimbang beratnya (dalam gram) dalam timbangan analitis
- Kemudian dicari perbandingan berat kotoran dari isolator tersebut dibagi berat dan debu (dalam gram)
- Kotoran yang telah ditimbang, dilarutkan dalam aquades sebanyak 100 mili liter
- Kotoran yang telah terlarut dalam aquades, diukur konduktivitasnya dengan menggunakan alat Konduktometer
- Kotoran hasil pengukuran dengan Konduktometer, dapat diketahui kekeruhannya
- Dari hasil pengukuran dengan Konduktometer, dapat diketahui kekeruhannya
- Dengan adanya kekeruhan tersebut, maka dapat diartikan bahwa polutan tersebut bersifat agresif sebagai penghantar listrik.

3.2.3 Pengukuran Kepadatan Timbunan Garam Ekivalen

Kepadatan timbunan garam ekivalen (*Equivalent Salt Deposit Density ESDD*) banyak dipergunakan sebagai ukuran tingkat kekotoran suatu daerah. Studi ini banyak dilakukan di Jepang dan Amerika Serikat. *Equivalent Salt Deposit Density (ESDD)* adalah jumlah NaCl yang akan menghasilkan konduktivitas yang sama pada ketipisan yang sempurna. ESDD hanya berlaku untuk larutan kotoran yang berada dalam keadaan tunak (*steady state*). Adalah merupakan tingkat kekotoran di daerah tersebut.

Prosedur pengukuran tingkat intensitas polutan dengan metode EESD adalah terlebih dahulu harus diketahui besar nilai konduktivitas sampel polutan yang telah diambil, dalam hal ini telah diketahui besar nilai konduktivitas sampel polutan isolator pada tiap-tiap wilayah pengambilan sampel polutan yang telah

ditentukan, yaitu kawasan industri, kawasan pantai, dan kawasan padat kendaraan bermotor.

Langkah awal adalah menghitung konsentrasi garam NaCl dimana besar nilai konduktivitas sampel polutan telah diketahui pada percobaan laboratorium sebelumnya, untuk mengetahui besar nilai konsentrasi garam NaCl yaitu dengan menggunakan rumus:

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10}$$

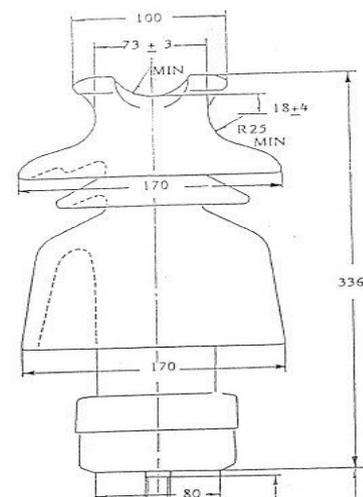
Keterangan :

D : Konsentrasi garam NaCl (%)

σ_{20} : Konduktivitas larutan pada temperatur 20° C ($\mu\text{S/cm}$)

Selanjutnya dihitung luas permukaan isolator, yaitu luas semua permukaan keramik yang membentuk isolator tersebut. Dalam hal ini, luas bahagian logam isolator tidak ikut diukur, isolator sampel dibentuk oleh empat sirip yang bentuknya mirip dengan kerucut terpotong, di mana salah satu di antaranya yaitu sirip paling atas berbentuk kerucut terpotong terbalik. Secara pendekatan, luas permukaan dalam dan permukaan luar sirip-sirip tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus luas permukaan kerucut terpotong.

Yang dimaksud dengan luas permukaan isolator adalah jumlah luas permukaan dalam dan luas permukaan luar semua sirip yang membentuk isolator tersebut. seperti contoh gambar 3.3 *isolator type pin post* di bawah ini.



Gambar 3 Contoh *Isolator Type Pin Post*

Dalam perhitungan matematika, luas selimut kerucut terpotong dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$L_s = \pi p (r_1 + r_2)$$

Keterangan :

L_s : Luas selimut kerucut terpotong

- P : Panjang garis pelukis atau apotema kerucut terpotong
 r_1 : Jari-jari bidang alas/ dasar/ bawah kerucut terpotong
 r_2 : Jari-jari bidang atas kerucut terpotong

Setelah diketahui besar konsentrasi kandungan garam NaCl, dan luas permukaan isolator maka besar nilai EESD dalam larutan polutan tersebut yaitu dengan menggunakan perhitungan:

$$W = 10 \times V \times \frac{D}{S}$$

- W : Kepadatan timbunan garam ekuivalen EESD (mg/cm²)
V : Volume air destilasi dalam gelas ukur (cc)
D : Konsentrasi kesetaraan garam dalam larutan polutan (%)
S : Luas permukaan isolator (cm²)

3.2.4 Pengukuran kandungan Besi dan Tembaga pada sample polutan

Analisa Logam (Fe dan Cu) dengan spektrofotometer Serapan atom dilakukan melalui proses penyerapan energi radiasi oleh atom-atom. Dari hasil serapan atom tersebut, maka dapat diketahui besar kandungan logam Fe ataupun Cu pada sampel polutan isolator yang telah diambil.

3.2.4.1 Peralatan yang digunakan dalam percobaan laboratorium ini adalah

- Buret 10 ml yang telah terkalibrasi
- Corong
- Gelas piala 250 ml yang telah terkalibrasi
- Kertas saring Whatman 42
- Labu ukur 100 ml dan 1000 ml yang telah terkalibrasi
- Pipet volume 5 ml, 10 ml, 100 ml yang telah terkalibrasi
- Penangas air yang telah terkalibrasi
- Spektrofotometer Serapan atom merk "GBC" yang telah terkalibrasi Tabung reaksi.

3.2.4.2 Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan laboratorium ini adalah:

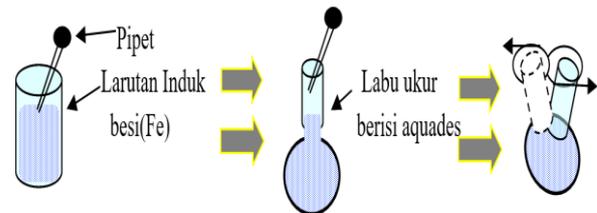
- Sampel polutan isolator pada kawasan Industri, kawasan pantai, dan kawasan padat kendaraan bermotor
- Aquabidest yang telah diasamkan dengan HNO₃ 1,5 ml dalam aquades 1 liter
- HNO₃ pekat
- Larutan standar Fe 1000 mg/l
- Larutan standar Cu 1000 mg/l

3.2.4.3 Pembuatan larutan standar

• Pembuatan larutan standar Fe

- Pembuatan larutan standar Fe 100 ppm

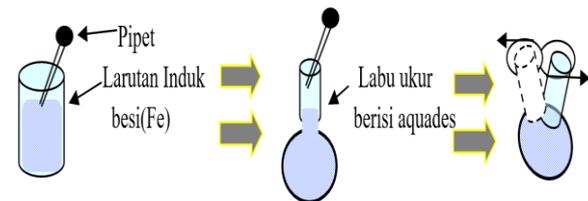
Langkah pembuatan larutan standar Fe pada kisaran 100 ppm adalah dipipet 5 ml larutan induk Fe 1000 mg/l lalu larutan induk Fe tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml, diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan hingga tanda garis, lalu dikocok agar bereaksi.



Gambar 4 Pembuatan Larutan Standar Besi (Fe) 100 ppn

- Pembuatan larutan standar Fe 10 mg/l

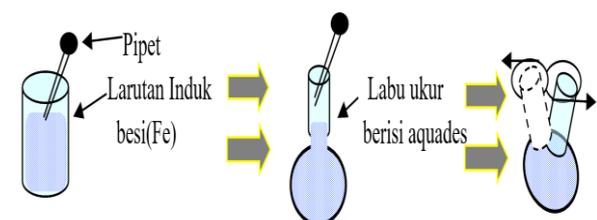
Langkah pembuatan larutan standar Fe pada kisaran 10 mg/l adalah dipipet 5 ml larutan induk Fe 100 mg/l lalu larutan induk Fe tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml, diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan hingga tanda garis, lalu dikocok agar bereaksi.



Gambar 5 Pembuatan Larutan Standar Besi(Fe) 10 mg/l

- Pembuatan larutan seri standar Fe 0,2 mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6 mg/l ; 0,8 mg/l dan 1 mg/l

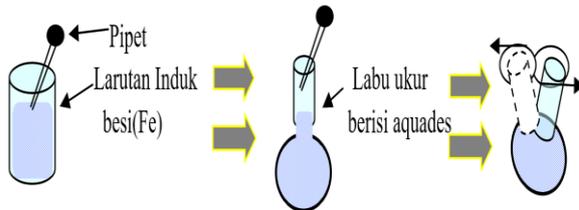
Langkah pembuatan larutan seri standar Fe yang telah ditentukan tsb adalah dengan dipipet masing-masing 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml larutan standar Fe 10 mg/l dan dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 50 ml, lalu diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan sampai tanda garis, dan dikocok agar bereaksi.



Gambar 6 Pembuatan larutan seri standar Fe 0,2 mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6 mg/l ; 0,8 mg/l dan 1 mg/l

- Pembuatan larutan standar Cu
 - Pembuatan larutan standar Cu 100 ppm

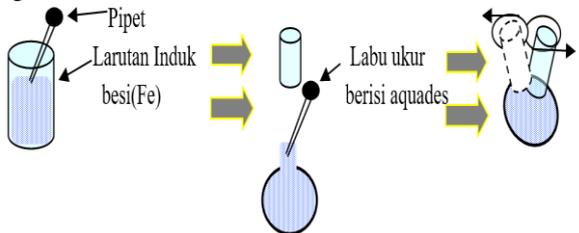
Langkah pembuatan larutan standar Cu pada kisaran 100 ppm adalah dipipet 5 ml larutan induk Cu 1000 mg/l lalu larutan induk Cu tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml, diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan hingga tanda garis, lalu dikocok agar bereaksi.



Gambar 7 Pembuatan Larutan Standar Tembaga (Cu) 100 ppm

- Pembuatan Larutan Standar Cu 10 mg/l

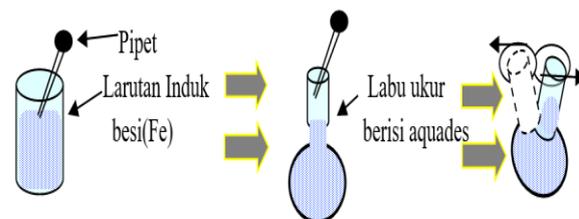
Langkah pembuatan larutan standar Cu pada kisaran 10 mg/l adalah dipipet 5 ml larutan induk Cu 100 mg/l lalu larutan induk Cu tersebut dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml, diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan hingga tanda garis, lalu dikocok agar bereaksi.



Gambar 8 Pembuatan Larutan Standar Tembaga(Cu) 10 mg/l

- Pembuatan Larutan Seri Standar Cu 0,2 mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6 mg/l ; 0,8 mg/l dan 1 mg/l

Langkah pembuatan larutan seri standar Cu yang telah ditentukan tsb adalah dengan dipipet masing-masing 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml, 5 ml larutan standar Cu 10 mg/l dan dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 50 ml, lalu diencerkan dengan *aquabidest* yang telah diasamkan sampai tanda garis, dan dikocok agar bereaksi.



Gambar 9 Pembuatan Larutan Seri Standar Cu 0,2 mg/l ; 0,4 mg/l ; 0,6 mg/l ; 0,8 mg/l dan 1 mg/l

3.2.4.4 Pembuatan Kurva Standar

- Pembuatan kurva standar Fe

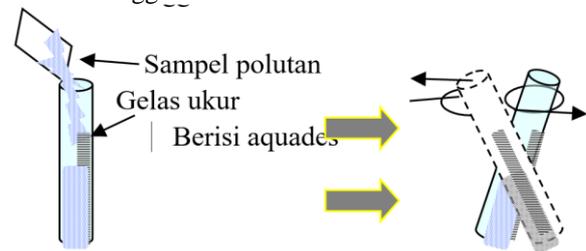
Diukur masing-masing absorbansi larutan seri standar Fe 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 ppm dengan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang (λ) = 248,3 nm.

- Pembuatan kurva standar Cu

Diukur masing-masing absorbansi larutan seri standar Cu 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,0 ppm dengan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang (λ) = 213,9 nm.

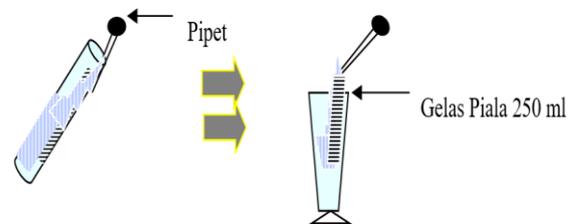
3.2.4.5 Preparasi larutan Sampel polutan

Larutkan sampel polutan ke dalam gelas ukur yang berisi aquades 100 ml, dan kocok sampel polutan tersebut hingga larut.



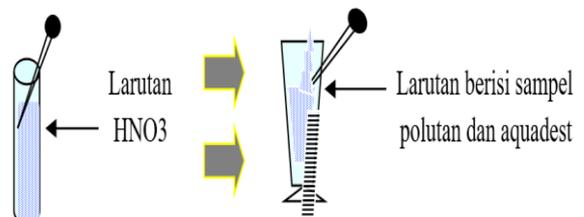
Gambar 10 Pelarutan sampel polutan dalam gelas ukur berisi aquades 100 ml

- Pipet larutan yang telah larut dalam *aquades* tersebut sebanyak 100 ml ke dalam gelas piala dengan ukuran takaran 250 ml.



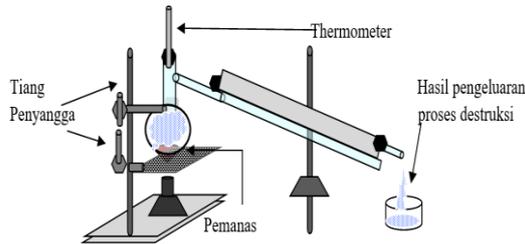
Gambar 11 Proses pemindahan larutan polutan 100 ml

- Masukkan 5 ml HNO₃ pekat ke dalam gelas piala tersebut yang telah berisi larutan sampel polutan.



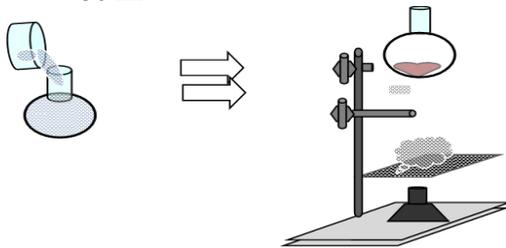
Gambar 12 Proses pencampuran larutan HNO₃ dengan larutan dalam gelas piala

- Destruksi larutan pada gelas piala tersebut pada penangas air hingga volumenya menjadi ± 5 ml.



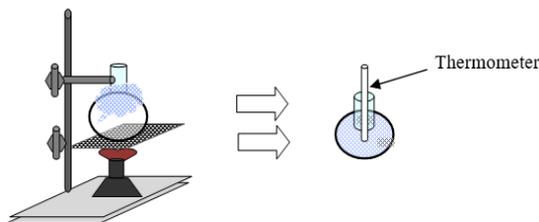
Gambar 13 Proses Destruksi larutan

- Encerkan larutan sampel tersebut dengan *aquabides* panas ke dalam labu ukur takaran 50 ml



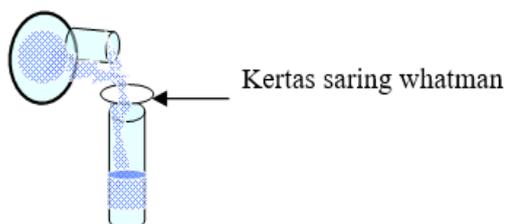
Gambar 14.Proses Pengenceran Larutan Dengan *Aquabidest*

- Encerkan larutan sampel yang telah dengan diberi *aquades*, lalu larutan tersebut dibiarkan dulu sampai suhunya sekitar 30° celcius, lalu tambah aquabides hingga garis batas



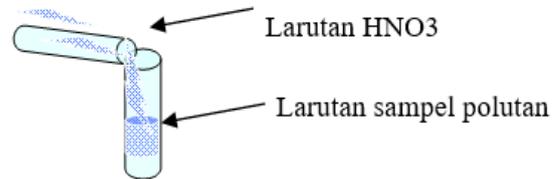
Gambar 15 Proses pengenceran larutan dengan dengan aquades

- Masukkan sampel tersebut ke dalam tabung reaksi dimana disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman 42.



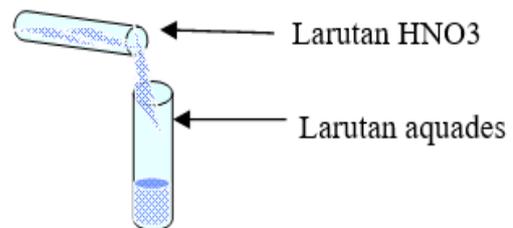
Gambar 16 Proses pemindahan larutan polutan ke dalam tabung reaksi

- Asamkan larutan sampel dengan larutan HNO₃ hingga mencapai PH 2.



Gambar 17 Proses pengasaman larutan polutan dengan menambahkan larutan HNO₃

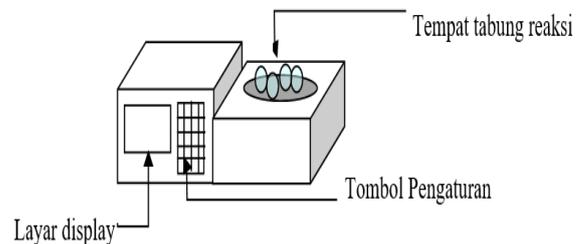
- Buat blanko berupa 100 ml aquabidest yang diasamkan dengan HNO₃ hingga mencapai PH 2.



Gambar 18 Proses pembuatan blanko larutan dengan mencampur larutan HNO₃ dan aquades

3.2.5 Pengukuran Absorbansi Larutan Sampel

Hasil preparasi larutan sampel yang telah dilakukan lalu diukur dengan alat *spektrofotometer* serapan atom, untuk analisis Fe digunakan ketetapan panjang gelombang (λ) = 248,3 nm, sedangkan untuk analisis Cu digunakan ketetapan panjang gelombang (λ) = 324,7 nm



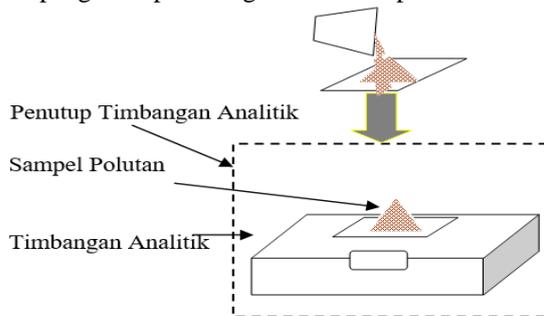
Gambar 19 Proses Pengukuran *Absorbansi* Larutan Dengan Alat *Spektrafotometer*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.1. Pengujian Laboratorium Pengukuran Tingkat Konduktivitas Isolator Akibat Polutan
4.1.1.1 Pengukuran Berat Polutan Dengan Timbangan Analitik

Debu polutan dari 3 wilayah pengambilan sampel debu polutan yang telah diambil dari 3 lokasi yang telah ditentukan, yaitu kawasan Industri (daerah sekitar jalan margomulyo Surabaya dan rungkut industri Surabaya), kawasan Pantai (daerah pantai kenjeran Surabaya), kawasan Padat kendaraan bermotor (daerah jalan Raya Darmo), ditimbang beratnya dengan menggunakan timbangan analitik

Pengukuran Berat Polutan dengan Timbangan Analitik Polutan Kawasan Industri Sampel debu polutan kawasan Industri yang telah diambil ditaruh dalam sebuah kertas dimana berfungsi sebagai tempat polutan pada saat pengukuran di timbangan analitik, selain itu berat kertas dapat diabaikan, sehingga tidak mempengaruhi perhitungan berat dari polutan tersebut.

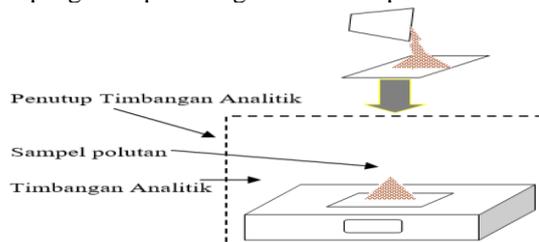


Gambar 20 Sampel Polutan Kawasan Industri

Ditempatkan pada kertas dan ditimbang beratnya dengan timbangan analitik. Dari hasil pengukuran berat sampel polutan pada kawasan industri yang telah dilakukan dapat diketahui berat sampel polutan kawasan industri adalah 1.789.

- Pengukuran Berat Polutan dengan Timbangan Analitik Polutan Kawasan Pantai

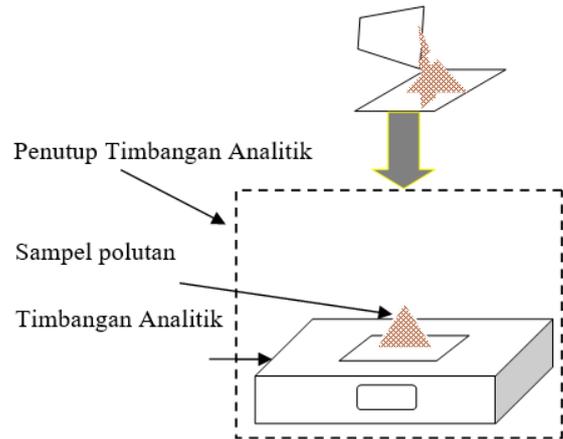
Sampel debu polutan kawasan pantai yang telah diambil ditaruh dalam sebuah kertas dimana berfungsi sebagai tempat polutan pada saat pengukuran di timbangan analitik, selain itu berat kertas juga tidak mempengaruhi perhitungan berat dari polutan tersebut.



Gambar 21 Sampel polutan kawasan pantai ditempatkan pada kertas dan ditimbang beratnya dengan timbangan analitik

- Pengukuran Berat Polutan dengan Timbangan Analitik Polutan Kawasan Pantai Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor

Sampel debu polutan kawasan padat kendaraan bermotor yang telah diambil ditaruh dalam sebuah kertas dimana berfungsi sebagai tempat polutan pada saat pengukuran di timbangan analitik, selain itu berat kertas juga tidak mempengaruhi perhitungan berat dari polutan tersebut.



Gambar 22 Sampel Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor Ditimbang Beratnya Dengan Timbangan Analitik

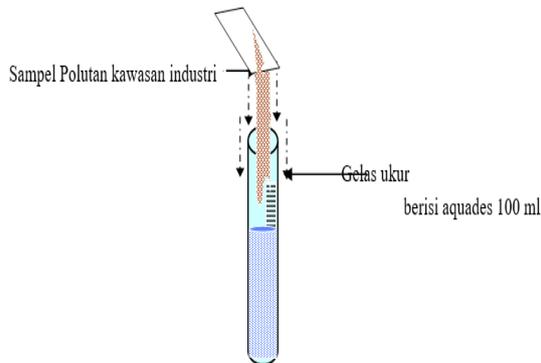
Dari hasil pengukuran berat sampel polutan pada kawasan padat kendaraan bermotor yang telah dilakukan dapat diketahui berat sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor adalah 0,341 gram.

4.1.1.2 Pengukuran Konduktivitas Polutan dengan menggunakan alat Konduktometer

Setelah ditimbang dan diketahui masing-masing sampel debu polutan dari 3 wilayah yang telah ditentukan tersebut, selanjutnya masing-masing polutan tersebut dilarutkan dalam gelas ukur yang telah berisi aquades sebanyak 100 ml. Setelah sampel polutan dilarutkan, sampel polutan yang telah larut dipisah antara kotoran polutan (yang tidak dapat larut dalam aquades) dengan polutan debu polutan (polutan yang larut dalam aquades). Setelah polutan tersebut dipisah, maka polutan yang dapat larut dalam aquades tersebut diukur nilai konduktivitasnya dengan alat konduktometer, sehingga dapat diketahui nilai konduktivitas polutan tersebut.

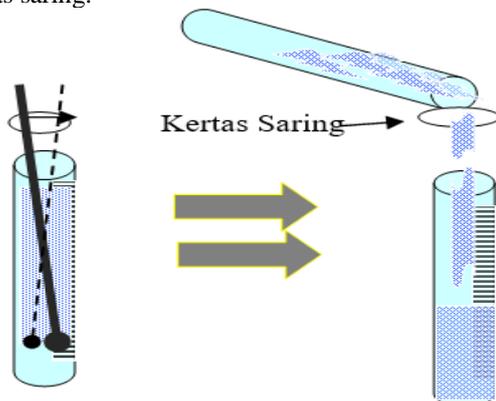
• **Pengukuran Konduktifitas Polutan Kawasan Industri Dengan Menggunakan Alat Konduktometer**

Sampel kawasan industri yang telah ditimbang beratnya, dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah berisi *aquades* 100 ml



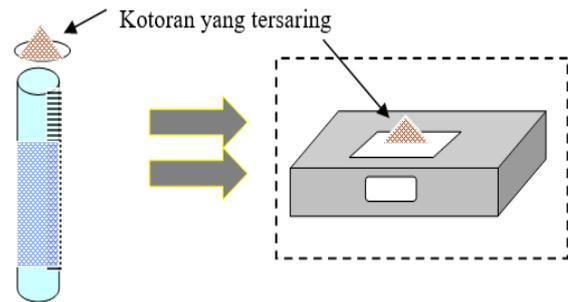
Gambar 23 Sampel Polutan Kawasan Industri Dimasukkan Ke Dalam Gelas Ukur yang Telah Berisi Aquades 100 ml

Untuk mengetahui perbandingan antara berat debu dan berat kotoran polutan kawasan industri, wadah gelas ukur yang berisi larutan *aquades* dan polutan tersebut diaduk terlebih dahulu selama kurang lebih 5 menit sampai tidak ada kotoran yang mengendap pada gelas ukur, setelah itu *aquades* dan polutan tersebut dituangkan pada gelas ukur yang kosong dimana di bagian atas gelas ukur tersebut diberi kertas saring.



Gambar 24 Polutan yang telah masuk dalam *aquades* diaduk lalu dimasukkan ke gelas ukur kosong dan disaring terlebih dahulu

Kotoran yang tidak larut dalam *aquades* akan tersaring pada kertas saring, dan kotoran yang larut dalam *aquades* akan masuk ke gelas ukur kosong tersebut bersama *aquades*. Kotoran yang tersaring pada *aquades* didiamkan dulu sampai kering pada sebuah wadah, dan setelah kering kotoran tersebut ditimbang beratnya.



Gambar 25 Kotoran Polutan Yang Tersaring Diukur Beratnya Dengan Timbangan Analitik

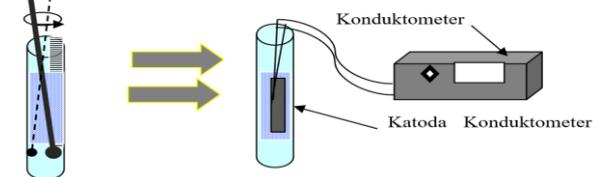
Dari hasil diketahuinya berat kotoran yang tidak dapat tersaring maka dapat diketahui perbandingan berat debu dan berat kotoran dengan perhitungan:

$$\text{Berat Polutan} = \text{Berat polutan yang dapat larut} + \text{Berat polutan yang tidak dapat larut}$$

Dari hasil percobaan laboratorium, telah diketahui perbandingan berat polutan kawasan industri, yaitu:

- Berat kotoran polutan kawasan Industri (tidak dapat larut) = 0,563 gram
- Berat debu polutan kawasan Industri (dapat larut) = 0,226 gram

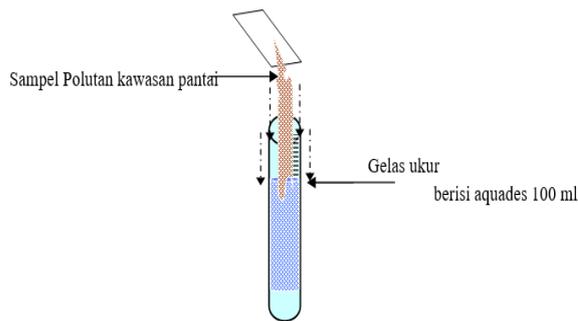
Untuk mengetahui besar nilai konduktivitas pada *aquades* yang telah bercampur dengan debu polutan tersebut, yaitu dengan cara mengaduk *aquades* yang berisi polutan tersebut selama kurang lebih 5 menit agar polutan yang masih mengendap dapat tercampur lagi, setelah mengaduk *aquades* yang berisi polutan tersebut, kemudian memasukkan anoda konduktometer pada *aquades* yang berisi polutan lalu didiamkan dulu beberapa saat sampai didapat angka besar nilai daya hantar listrik tersebut.



Gambar 26 Polutan Diukur Nilai Konduktifitasnya

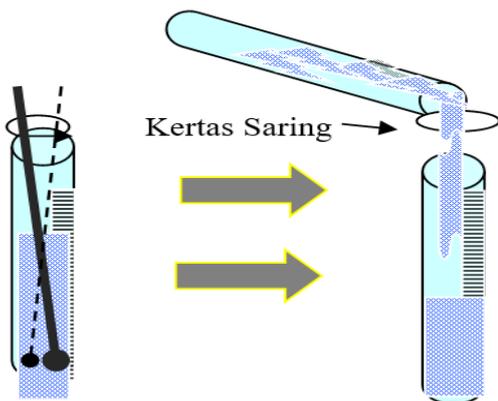
Dengan Menggunakan Alat Konduktometer Dari hasil uji laboratorium yang telah dilakukan didapat hasil besar nilai konduktivitas *aquades* yang berisi polutan kawasan industri tersebut sebesar: 528,1 S/cm

- Pengukuran Konduktifitas Polutan Kawasan Pantai dengan menggunakan alat Konduktometer
Sampel kawasan pantai yang telah ditimbang beratnya, dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah berisi *aquades* 100 ml



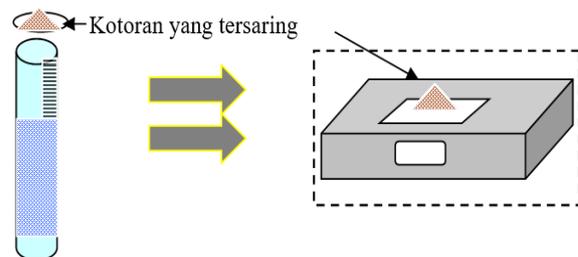
Gambar 27 Sampel Polutan Kawasan Pantai Dimasukkan Ke Dalam Gelas Ukur yang Telah Berisi Aquadès

Untuk mengetahui perbandingan antara berat debu dan berat kotoran polutan kawasan pantai, wadah gelas ukur yang berisi larutan *aquadès* dan polutan tersebut diaduk terlebih dahulu selama kurang lebih 5 menit sampai tidak ada kotoran yang mengendap pada gelas ukur, setelah itu *aquadès* dan polutan tersebut dituangkan pada gelas ukur yang kosong dimana di bagian atas gelas ukur tersebut diberi kertas saring.



Gambar 28 Polutan yang telah masuk dalam *aquadès* diaduk lalu dimasukkan ke gelas ukur kosong dan disaring terlebih dahulu

Kotoran yang tidak larut dalam *aquadès* akan tersaring pada kertas saring, dan kotoran yang larut dalam *aquadès* akan masuk ke gelas ukur kosong tersebut bersama *aquadès*. Kotoran yang tersaring pada *aquadès* didiamkan dulu sampai kering pada sebuah wadah, dan setelah kering kotoran tersebut ditimbang beratnya.



Gambar 29 Kotoran Polutan yang Tersaring Diukur Beratnya dengan Timbangan Analitik

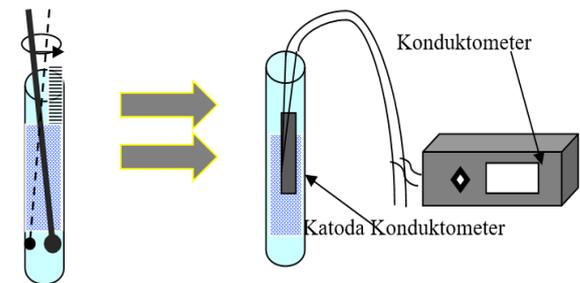
Dari hasil diketahuinya berat kotoran yang tidak dapat tersaring maka dapat diketahui perbandingan berat debu dan berat kotoran dengan perhitungan:

$$\text{Berat Polutan} = \text{Berat polutan yang dapat larut} + \text{Berat polutan yang tidak dapat larut}$$

Dari hasil percobaan laboratorium, telah diketahui perbandingan berat polutan kawasan pantai, yaitu:

- Berat kotoran polutan kawasan pantai (tidak dapat larut) = 0,222 gram
- Berat debu polutan kawasan pantai (dapat larut) = 0,213 gram

Untuk mengetahui besar nilai konduktivitas pada *aquadès* yang telah bercampur dengan debu polutan tersebut, yaitu dengan cara mengaduk *aquadès* yang berisi polutan kawasan pantai tersebut selama kurang lebih 5 menit agar polutan yang masih mengendap dapat tercampur lagi, setelah mengaduk *aquadès* yang berisi polutan tersebut, kemudian memasukkan anoda konduktometer pada *aquadès* yang berisi polutan lalu didiamkan dulu beberapa saat sampai didapat angka besar nilai daya hantar listrik tersebut.

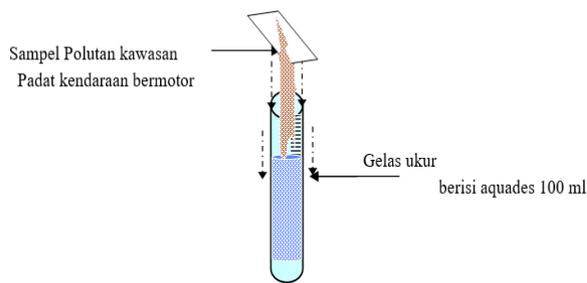


Gambar 30 Polutan Diukur Nilai Konduktifitasnya dengan Menggunakan Alat Konduktometer

Dari hasil uji laboratorium yang telah dilakukan didapat hasil besar nilai konduktivitas *aquadès* yang berisi polutan kawasan pantai tersebut sebesar: 543,2 S/cm.

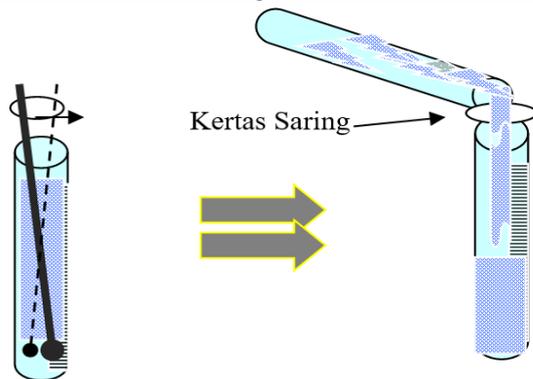
- Pengukuran Konduktifitas Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor dengan menggunakan alat Konduktometer

Sampel kawasan padat kendaraan bermotor yang telah ditimbang beratnya, dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah berisi *aquadès* 100 ml



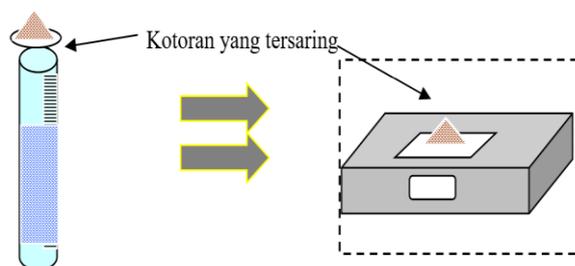
Gambar 31 Sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah berisi aquades

Untuk mengetahui perbandingan antara berat debu dan berat kotoran polutan kawasan padat kendaraan bermotor, wadah gelas ukur yang berisi larutan aquades dan polutan tersebut diaduk terlebih dahulu selama kurang lebih 5 menit sampai tidak ada kotoran yang mengendap pada gelas ukur, setelah itu aquades dan polutan tersebut dituangkan pada gelas ukur yang kosong dimana di bagian atas gelas ukur tersebut diberi kertas saring.



Gambar 32 Polutan yang telah masuk dalam aquades diaduk lalu dimasukkan ke gelas ukur kosong dan disaring terlebih dahulu

Kotoran yang tidak larut dalam aquades akan tersaring pada kertas saring, dan kotoran yang larut dalam aquades akan masuk ke gelas ukur kosong tersebut bersama aquades. Kotoran yang tersaring pada aquades didiamkan dulu sampai kering pada sebuah wadah, dan setelah kering kotoran tersebut ditimbang beratnya.



Gambar 32 Kotoran polutan yang tersaring diukur beratnya dengan timbangan analitik

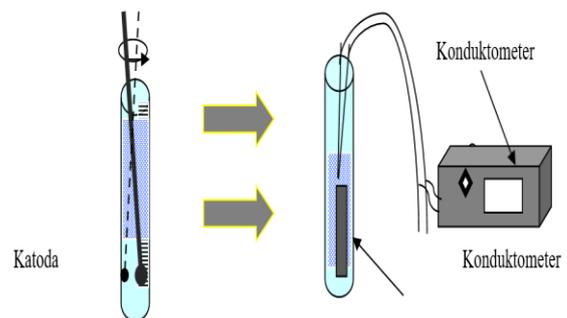
Dari hasil diketahuinya berat kotoran yang tidak dapat tersaring maka dapat diketahui perbandingan berat debu dan berat kotoran dengan perhitungan:

$$\text{Berat Polutan} = \text{Berat polutan yang dapat larut} + \text{Berat polutan yang tidak dapat larut}$$

Dari hasil percobaan laboratorium, telah diketahui perbandingan berat polutan kawasan padat kendaraan bermotor, yaitu:

- Berat kotoran polutan kawasan padat kendaraan bermotor (tidak dapat larut) = 0,174 gram
- Berat debu polutan kawasan padat kendaraan bermotor (dapat larut) = 0,167 gram

Untuk mengetahui besar nilai konduktivitas pada aquades yang telah bercampur dengan debu polutan tersebut, yaitu dengan cara mengaduk aquades yang berisi polutan kawasan padat kendaraan bermotor tersebut selama kurang lebih 5 menit agar polutan yang masih mengendap dapat tercampur lagi, setelah mengaduk aquades yang berisi polutan tersebut, kemudian memasukkan anoda konduktometer pada aquades yang berisi polutan lalu didiamkan dulu beberapa saat sampai didapat angka besar nilai daya hantar listrik tersebut.



Gambar 33 Polutan diukur nilai konduktivitasnya Dengan menggunakan alat konduktometer

Dari hasil uji laboratorium yang telah dilakukan didapat hasil besar nilai konduktivitas aquades yang berisi polutan kawasan padat kendaraan bermotor tersebut sebesar: 521,1 S/cm

4.1.2 Pengukuran Kepadatan Timbunan Garam Ekuivalen Pada Polutan Isolator

• Pengukuran besar kepadatan timbunan garam ekuivalen (EESD) pada polutan kawasan industri Pada percobaan laboratorium untuk mengukur besar nilai konduktivitas polutan kawasan industri telah diketahui pada percobaan sebelumnya, yaitu didapat besar nilai konduktivitas polutan kawasan industri sebesar = 528,1 S/Cm.

Langkah selanjutnya adalah menghitung besar konsentrasi garam NaCl (D), dimana dipergunakan perhitungan :

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10}$$

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 528,1)^{1,03}}{10}$$

$$D = 0,0290$$

Setelah diketahui besar konsentrasi kandungan garam Nacl, selanjutnya dihitung luas permukaan isolator, yaitu luas semua permukaan keramik yang membentuk isolator tersebut, dengan perhitungan :

$$L_{s1} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s1} = 3,14 \times 5,7 (5 + 3,6)$$

$$L_{s1} = 153,923 \text{ cm}^2$$

$$L_{s2} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s2} = 3,14 \times 3,8 (4 + 3,6)$$

$$L_{s2} = 90,683 \text{ cm}^2$$

$$L_{s3} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s3} = 3,14 \times 14 (8,5 + 3,6)$$

$$L_{s3} = 531,596 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas total permukaan isolator} &= L_{s1} + L_{s2} + L_{s3} \\ &= 153,923 + 90,683 + 531,596 \\ &= 776,202 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Besar nilai EESD dalam larutan polutan tersebut yaitu dengan menggunakan perhitungan:

$$W = 10 \times V \times \frac{D}{S}$$

$$W = 10 \times 100 \times \frac{0,0290}{776,202}$$

$$W = 0,0374 \text{ mg/cm}^2$$

Pengukuran besar kepadatan timbunan garam ekivalen (EESD) pada polutan Kawasan pantai. Pada percobaan laboratorium untuk mengukur besar nilai konduktifitas polutan kawasan industri telah diketahui pada percobaan sebelumnya, yaitu didapat besar nilai konduktifitas polutan kawasan industri sebesar = 543,2 S/Cm

Langkah selanjutnya adalah menghitung besar konsentrasi garam Nacl (D), dimana dipergunakan perhitungan :

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10}$$

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 0,5432)^{1,03}}{10}$$

$$D = 0,0299$$

Setelah diketahui besar konsentrasi kandungan garam Nacl, selanjutnya dihitung luas permukaan isolator, yaitu luas semua permukaan keramik yang membentuk isolator tersebut, dengan perhitungan :

$$L_{s1} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s1} = 3,14 \times 5,7 (5 + 3,6)$$

$$L_{s1} = 153,923 \text{ cm}^2$$

$$L_{s2} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s2} = 3,14 \times 3,8 (4 + 3,6)$$

$$L_{s2} = 90,683 \text{ cm}^2$$

$$L_{s3} = \pi p (r_1 + r_2)$$

$$L_{s3} = 3,14 \times 14 (8,5 + 3,6)$$

$$L_{s3} = 531,596 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas total permukaan isolator} &= L_{s1} + L_{s2} + L_{s3} \\ &= 153,923 + 90,683 + 531,596 \\ &= 776,202 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Besar nilai EESD larutan polutan tersebut dapat diketahui yaitu dengan menggunakan perhitungan:

$$W = 10 \times V \times \frac{D}{S}$$

$$W = 10 \times 100 \times \frac{0,0286}{776,202}$$

$$W = 0,0369 \text{ mg/cm}^2$$

4.1.3 Pengukuran kepadatan timbunan logam (Fe dan Cu) pada polutan isolator dengan menggunakan alat spectrafotometer

Sebelum melakukan percobaan pengukuran besar nilai timbunan Besi(Fe) dan tembaga(Cu) pada sampel larutan polutan isolator yang telah diambil di kawasan industri, kawasan pantai dan kawasan padat kendaraan bermotor dengan menggunakan alat spectrafotometer, perlu dilakukan pembuatan standar kurva kandungan besi dan kandungan tembaga sebagai acuan dalam melakukan pengukuran nilai timbunan besi dan tembaga sampel larutan polutan.

Setelah dilakukan pengukuran maka didapat besar nilai larutan standart larutan besi(Fe) sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil pengukuran larutan standar kurva besi (Fe) menggunakan alat *pectrafotomter*

Sampel	Konsentrasi Fe ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbansi Rata-Rata
Blanko	-----	0,0000
standar 1	0,2000	0,0045
standar 2	0,4000	0,0087
standar 3	0,6000	0,0135
standar 4	0,8000	0,0181
standar 5	1,0000	0,0234

Besar nilai larutan standart larutan tembaga(Cu) sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil pengukuran larutan standar kurva tembaga(Cu) menggunakan alat *spectrafotomter*

Sampel	Konsentrasi Cu ($\mu\text{g/ml}$)	Absorbansi Rata-Rata
Blanko	-----	0,0009
Standar 1	0,2000	0,0181
Standar 2	0,4000	0,0353
Standar 3	0,6000	0,0535
Standar 4	0,8000	0,0716
Standar 5	1,0000	0,0906

- **Pengukuran kepadatan timbunan Logam besi(Fe) dan tembaga(Cu) pada sampel polutan isolator kawasan Industri**

Data hasil pengukuran absorbansi larutan besi(Fe) sampel polutan kawasan industri dengan menggunakan alat spektrofotometer dapat dilihat pada tabel pada halaman 38 berikut ini:

Tabel 3 Hasil pengukuran nilai timbunan Besi(Fe) pada kawasan Industri

Sampel	Konsentrasi Fe($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan pembacaan absorbansi		
Blanko	---	0,0007	0,0020	0,0002	0,0000
Sampel Polutan Kawasan Industri	0,0744	0,0027	0,0022	0,0033	0,0022
Blanko	---	0,0011	0,0016	0,0008	0,0010

Sedangkan data hasil pengukuran absorbansi larutan tembaga(Cu) sampel polutan kawasan industri dengan menggunakan alat spektrofotometer dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

- **Pengukuran kepadatan timbunan logam besi(Fe) dan tembaga(Cu) pada polutan isolator kawasan pantai**

Data hasil pengukuran absorbansi larutan besi(Fe) sampel polutan kawasan pantai dengan menggunakan alat spektrofotometer dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4 Hasil pengukuran nilai timbunan tembaga(Cu) pada kawasan Industri

Sampel	Konsentrasi Cu ($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan pembacaan absorbansi		
Blanko	---	0,0023	0,0034	0,0017	0,0018
Sampel Polutan Kawasan Industri	0,00031	0,0021	0,0021	0,0018	0,0022
Blanko	---	0,0008	0,0005	0,0011	0,0007

Tabel 5 Hasil pengukuran nilai timbunan Besi(Fe) kawasan pantai

Sampel	Konsentrasi Fe($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan pembacaan absorbansi		
Blanko	---	0,0007	0,0020	0,0002	0,0000
Sampel Polutan Kawasan Pantai	0,0631	0,0027	0,0022	0,0033	0,0022
Blanko	---	0,0011	0,0016	0,0008	0,0010

Data hasil pengukuran absorbansi larutan tembaga(Cu) sampel polutan kawasan pantai dengan menggunakan alat spektrofotometer dapat dilihat pada tabel di berikut ini:

Tabel 6 Hasil pengukuran nilai timbunan Tembaga (Cu) pada kawasan pantai

Sampel	Konsentrasi Cu ($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan pembacaan absorbansi		
Blanko	---	0,0023	0,0034	0,0017	0,0018
Sampel Polutan Kawasan Pantai	0,00026	0,0021	0,0021	0,0018	0,0022
Blanko	---	0,0008	0,0005	0,0011	0,0007

- Pengukuran kepadatan timbunan Logam besi (Fe) dan tembaga(Cu) pada polutan isolator kawasan padat kendaraan bermotor

Data hasil pengukuran absorbansi logam besi(Fe) sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor dengan menggunakan alat spektrofotometer dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 7 Hasil pengukuran nilai timbunan Besi(Fe) pada kawasan padat kendaraan bermotor

Sampel	Konsentrasi Fe ($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan Pembacaan Absorbansi		
Blanko	---	0,0007	0,0020	0,0002	-0,0000
Sampel Polutan Kawasan Padat kendaraan bermotor	0,0689	0,0027	0,0022	0,0033	0,0022
Blanko	---	0,0011	0,0016	0,0008	0,0010

Sedangkan data hasil pengukuran absorbansi logam tembaga(Cu) sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor dengan menggunakan alat *spektrofotometer*

Tabel 8 Hasil pengukuran nilai timbunan tembaga(Cu) kawasan padat kendaraan bermotor

Sampel	Konsentrasi Cu ($\mu\text{g/ml}$)	Absorban Rata-rata	Perulangan pembacaan Absorbansi		
Blanko	---	0,0023	0,0034	0,0017	0,0018
Sampel Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor	0,00028	0,0021	0,0021	0,0018	0,0022
Blanko	---	0,0008	0,0005	0,0011	0,0007

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pengujian Laboratorium Pengukuran Tingkat Konduktivitas pada Polutan Isolator

Berdasarkan uji laboratorium pengukuran tingkat konduktivitas isolator akibat polutan yang telah dilakukan pada sampel polutan di tiga wilayah yang telah ditanyakan yaitu kawasan Industri, kawasan pantai, kawasan padat kendaraan bermotor, didapat hasil nilai konduktivitas pada tiap sampel polutan seperti pada tabel di bawah ini:

4.2.2 Pengujian laboratorium pengukuran kepadatan timbunan garam ekivalen pada polutan isolator

Telah disebutkan sebelumnya bahwa jumlah lokasi pengambilan sampel ditetapkan di tiga lokasi yang berbeda. Nilai ESDD pada suatu lokasi ditetapkan dengan menghitung nilai rata-rata ESDD. Setelah harga rata-rata ESDD pada suatu daerah dihitung, maka:

Tabel 9 Hasil Pengujian Laboratorium Pengukuran Tingkat Konduktivitas Pada Polutan Isolator

Sampel Polutan	Nilai Konduktivitas (S/cm)	Pembahasan
Polutan Kawasan Industri	528,1	Pada sampel polutan isolator kawasan industri nilai daya hantar listrik yang ditimbulkan lebih kecil dari sampel polutan kawasan pantai, hal ini disebabkan karena sebagian besmasukar polutan yang berada pada sekitar kawasan industri tersebut cenderung terkontaminasi oleh zat limbah Industri(Zat-zat yang mengandung minyak / gas /debu dari hasil kerja industri) dimana zat yang terkandung di dalamnya merupakan salah satu senyawa yang memiliki daya hantar listrik yang cenderung lebih lemah, hal ini dikarenakan senyawa yang di dalam air terion sebagian atau senyawa tersebut hanya sebagian saja yang berubah menjadi ion dan sebagian yang lainnya masih sebagai molekul senyawa yang terlarut. sehingga menghalangi ion-ion yang akan menghantarkan listrik, dan menyebabkan zat tersebut tidak dapat menghantarkan listrik dengan sempurna
Polutan Kawasan Pantai	543,2	Pada sampel polutan isolator kawasan pantai memiliki nilai daya hantar listrik yang lebih besar, hal ini terjadi dikarenakan pada kawasan pantai, polutan di sekitar lingkungan tersebut cenderung telah bercampur dengan kandungan-kandungan zat garam / asam dari air laut yang berada di kawasan pantai tersebut, telah diketahui bersama bahwa asam / garam merupakan salah satu zat larutan elektrolit kuat, hal ini disebabkan karena partikel-partikel yang ada di dalam larutan asam atau garam adalah ion-ion yang bergabung dengan molekul air, sehingga larutan tersebut daya hantar listriknya kuat, selain itu disebabkan karena tidak ada molekul atau partikel lain yang menghalangi gerakan ion-ion untuk menghantarkan arus listrik, sementara molekul-molekul air adalah sebagai media untuk pergerakan ion.
Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor	521,1	Pada sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor daya hantar listriknya lebih kecil dibandingkan dengan sampel polutan isolator kawasan pantai ataupun sampel polutan isolator kawasan industri, hal ini disebabkan sebagian besar polutan pada kawasan padat kendaraan bermotor zat polutannya cenderung tercampur oleh gas karbon dioksida yang hanya mengandung minyak atau oli disebabkan dari hasil kerja kendaraan bermotor yang digunakan, zat oli atau minyak adalah zat yang memiliki nilai elektrolit atau memiliki daya hantar listrik yang rendah, hal ini disebabkan karena minyak adalah zat yang memiliki ion-ion yang sedikit, sehingga larutan tersebut tidak dapat menghantarkan arus listrik.

Diperoleh nilai ESDD polutan isolator pada tiga wilayah lokasi pengambilan sampel polutan tersebut. Menurut data dari SPLN 10-3B 1993, dan menurut data dari IEEE (*Amerika Serikat*), jika ESDD berkisar antara 0,03 s/d 0,06 mg/cm² maka intensitas polusi dikategorikan ringan. Hasilnya adalah seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini,

Tabel 10 Hasil Pengujian Laboratorium Pengukuran Kepadatan Timbunan Garam Ekuivalen Polutan Pada Isolator.

Sampel	Nilai EESD (Mg/Cm ²)	Kategori Polutan
Polutan Kawasan Industri	0,0374	Ringan
Polutan Kawasan Pantai	0,0385	Ringan
Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor	0,0369	Ringan

4.2.3 Pengujian Laboratorium Pengukuran Kepadatan Timbunan Logam (Fe Dan Cu) pada Polutan Isolator dengan Menggunakan Alat Spectrafotometer

Pada pengujian laboratorium dengan menggunakan alat spectrafotomer telah diketahui besar nilai kandungan senyawa besi (Fe) dan kandungan senyawa tembaga (Cu) dalam larutan polutan yang telah diambil di tiga kawasan yang berbeda, yaitu kawasan industri, kawasan pantai, kawasan padat kendaraan bermotor.

Dari hasil uji laboratorium pengukuran tingkat konduktivitas polutan yang telah dilakukan sebelumnya dimana konduktivitas polutan dipengaruhi oleh kandungan garam, maka dalam percobaan kali ini diketahui bagian senyawa kandungan besi(Fe) dan tembaga(Cu), seperti diketahui bahwa besi(Fe) dan tembaga(Cu) merupakan zat penghantar listrik dan panas yang paling baik, selain itu besi jika bercampur dengan zat asam dalam kurun waktu tertentu sangat berpotensi menimbulkan kerak atau korosif, dari pengukuran kandungan besi dan tembaga dengan menggunakan alat spectrafotometer, didapat hasil seperti pada tabel 11 di bawah ini:

Tabel 11 Hasil Pengujian Laboratorium Pengukuran Kepadatan Timbunan Logam (Fe Dan Cu) Pada Polutan Isolator Dengan Menggunakan Alat Spectrafotometer.

Sampel	Konsentrasi Kandungan Besi (Fe)	Konsentrasi Kandungan Tembaga (Cu)	Pembahasan
Polutan Kawasan Industri	0,0744	0,00031	Pada sampel polutan kawasan industri memiliki nilai kandungan besi dan tembaga yang paling besar dibanding dengan sampel polutan pada kawasan pantai dan padat kendaraan bermotor, hal ini dikarenakan oleh faktor polutan yang berada di kawasan industri cenderung terkontaminasi oleh hasil limbah kerja industri yang berupa limbah asap dan limbah debu dari berbagai macam bahan-bahan produksi industri yang dapat berupa logam ataupun non logam maupun dari polutan asap kendaraan seperti truk / kendaraan dengan bahan bakar diesel.
Polutan Kawasan Pantai	0,0631	0,00026	Pada sampel polutan kawasan pantai didapat hasil kandungan besi dan tembaga yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel polutan kawasan industri dan kawasan padat kendaraan bermotor, hal ini disebabkan polutan yang berada di sekitar kawasan pantai tersebut tidak terkontaminasi oleh zat-zat yang mengandung besi(Fe) dan tembaga(Cu) yang berada di sekitar kawasan pantai tersebut, sehingga nilai kandungan besi(Fe) dan tembaga(Cu) pada polutan kawasan pantai relatif kecil dibanding polutan pada kawasan industri maupun pada kawasan padat kendaraan bermotor
Polutan Kawasan Padat Kendaraan Bermotor	0,0681	0,00028	Pada sampel polutan kawasan padat kendaraan bermotor, didapat hasil kandungan besi dan tembaga yang lebih besar dari kawasan pantai namun lebih kecil dibanding kawasan industri, hal ini dipengaruhi karena polutan pada kawasan padat kendaraan bermotor, polutannya cenderung terkontaminasi oleh hasil kerja kendaraan bermotor yang berada di sekitar kawasan tersebut

4.2.4 Ringkasan pembahasan

- Ringkasan pembahasan Pengujian laboratorium pengukuran tingkat konduktivitas pada polutan isolator

Setelah melakukan pengujian laboratorium untuk mengukur tingkat konduktivitas polutan pada isolator dari tiga sampel polutan yang berbeda wilayah pengambilan sampel polutan, maka didapatkan ringkasan bahwa sampel polutan pada kawasan pantai adalah sampel polutan yang memiliki nilai konduktivitas yang terbesar dibanding dengan sampel polutan kawasan Industri dan kawasan padat kendaraan bermotor, hal ini dipengaruhi karena pada kawasan pantai, polutan di sekitar lingkungan tersebut cenderung telah bercampur dengan kandungan-kandungan zat garam / asam dari air laut yang berada di kawasan pantai tersebut, telah diketahui bersama bahwa asam / garam merupakan salah satu zat larutan elektrolit kuat, hal ini disebabkan karena partikel-partikel yang ada di dalam larutan asam atau garam adalah ion-ion yang bergabung dengan molekul air, sehingga larutan tersebut daya hantar listriknya kuat, selain itu disebabkan karena tidak ada molekul atau partikel lain yang menghalangi gerakan ion-ion untuk menghantarkan arus listrik, sementara molekul-molekul air adalah sebagai media untuk pergerakan ion.

- Ringkasan pembahasan Pengujian laboratorium pengukuran kepadatan timbunan garam ekuivalen pada polutan isolator

Setelah melakukan pengujian laboratorium untuk mengukur tingkat konduktivitas polutan pada

isolator dari tiga sampel polutan yang berbeda wilayah pengambilan sampel polutan, maka didapatkan ringkasan bahwa sampel polutan pada kawasan pantai adalah sampel polutan yang memiliki nilai kepadatan timbunan garam ekuivalen yang terbesar dibanding dengan sampel polutan kawasan Industri dan kawasan padat kendaraan bermotor, hal ini dipengaruhi karena polutan kawasan pantai dekat dengan laut, telah diketahui bahwa air laut sendiri memiliki kandungan garam yang besar sehingga lingkungan yang berada di sekitar laut tersebut sangat berpotensi terkontaminasi oleh zat-zat garam yang terbawa angin dari proses penguapan air laut tersebut ataupun dari endapan garam pada air laut tersebut.

- Ringkasan Pembahasan Pengujian Laboratorium Pengukuran Kepadatan Timbunan Logam (Fe Dan Cu) Pada Polutan Isolator Dengan Menggunakan Alat Spectrafotometer

Setelah melakukan pengujian laboratorium untuk mengukur tingkat konduktivitas polutan pada isolator dari tiga sampel polutan yang berbeda wilayah pengambilan sampel polutan, maka didapatkan ringkasan bahwa sampel polutan pada kawasan pantai adalah sampel polutan yang memiliki nilai konduktivitas yang terbesar dibanding dengan sampel polutan kawasan Industri dan kawasan padat kendaraan bermotor, hal ini dipengaruhi karena pada sampel polutan kawasan industri memiliki nilai kandungan besi dan tembaga yang paling besar dibanding dengan sampel polutan pada kawasan pantai dan padat kendaraan bermotor, hal ini dikarenakan oleh faktor

polutan yang berada di kawasan industri cenderung terkontaminasi oleh hasil limbah kerja industri yang berupa limbah asap dan limbah debu dari berbagai macam bahan-bahan produksi industri yang dapat berupa logam ataupun non logam maupun dari polutan asap kendaraan seperti truk / kendaraan dengan bahan bakar diesel.

V. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

- Sampel polutan kawasan pantai memiliki nilai konduktivitas terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri
- Sampel polutan kawasan pantai memiliki nilai timbunan garam ekuivalen terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri
- Sampel polutan kawasan industri memiliki nilai kandungan besi dan kandungan tembaga terbesar dibandingkan dengan sample polutan kawasan padat kendaraan bermotor dan kawasan industri.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, 1982, “ Teknik Tegangan Tinggi Suplemen ”, Jakarta.Penerbit PT Ghalia Indonesia, Jakarta.
- [2] Arismunandar, 1984, “ Teknik Tegangan Tinggi”, Jakarta.Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- [3] Baktir Achmad, 1992, “ Perkiraan Luas Daerah Penyebaran Polutan Partikular : Studi khusus Cerobang PT Semen Gresik”, Laporan penelitian, PUSLIT ITS
- [4] Berahim, Hamzah, 2007, Resin Epoksi Silane layak untuk Materi Isolator Listrik Tegangan Tinggi Tropis, www.kapanlagi.com
- [5] Cholilurrahman, R. Ahmad dan artanti W.S., Ika, 1996, “ Teknik Pengujian Isolator Pin Post pada SUTM 20 kV “, Registrasi Perpustakaan ITATS, Surabaya, Nomor : 621.319, 37 dan 000720 / TAE / 1996.
- [6] Cholilurrahman, R. Ahmad dan Setiawati, indah, 1996, “ Penentuan Bentuk Isolator dan Medan Listrik pada Tegangan Kerja 6 kV dengan Persamaan Differensial yang Diperoleh dari Bantuan Koordinat Parabola “, Registrasi Perpustakaan ITATS, Surabaya, Nomor : 621.319.37 dan 000902 / TAE / 1996.
- [7] Endrianto, Agus, 2003, “ Perbandingan Antara SF₆Cb dengan OCB Berbasis Sifat Bahan Pemadaman “, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, FTI, ITATS, Surabaya.
- [8] CIGRE Technical Bulletin 63, 1991, “ Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines “.
- [9] Madagaskar, 1993, “ Pengaruh Unsur Feldspar Pada Bahan Glasir Isolator Listrik Tegangan Menengah Terhadap Sifat Mekanik dan Kuat Tembus Listrik “, www.google.com
- [10] Nugrahanti, Asri, 1993, “Pengaruh Unsur Kwarsa / Silika Pada Bahan Glasir Isolator Tegangan Menengah Terhadap Sifat Mekanik Dan Kuat Tembus Listrik “, Program Studi S-2 Teknik Material, PPs, UI, Jakarta.
- [11] Sirait dan Triyono, 1982, “Pemetaan Polusi Pada Isolator Listrik di Indonesia”, Makalah pada Pertemuan Kelompok Tegangan Tinggi di Jakarta.