

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Udara dan Pencemaran Udara

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap. Komposisi campuran gas tersebut tidak selalu konstan dan selalu berubah dari waktu ke waktu. Komponen yang konsentrasinya paling bervariasi adalah air yang berupa uap air. Jumlah air yang terdapat di udara bervariasi tergantung dari cuaca dan suhu. Udara bersih yang dihirup hewan dan manusia merupakan gas yang tidak tampak, tidak berbau, tidak berwarna maupun berasa (Wardhana, 1995).

Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfer yang dibutuhkan dan mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur hidup lainnya. Pencemaran udara dapat diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan (komposisi) udara dari keadaan normalnya. Masuknya bahan-bahan atau zat-zat asing ke dalam udara selalu menyebabkan perubahan kualitas udara. Masuknya bahan-bahan atau zat-zat asing tersebut tidak selalu menyebabkan pencemaran udara. Mengacu pada defenisinya, pencemaran udara baru terjadi jika masuknya bahan-bahan atau zat-zat asing tersebut menyebabkan mutu udara turun sampai ke tingkat dimana kehidupan manusia, hewan dan binatang terganggu atau lingkungan tidak berfungsi sebagai mana mestinya (Wardana dan Wisnu, 2001). Komposisi udara kering yang bersih, dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Komposisi udara bersih

Komponen	Konsentrasi dalam volume
----------	--------------------------

	(ppm)	(%)
Nitrogen (N ₂)	780,900	78,09
Oksigen (O ₂)	209,500	20,95
Argon (Ar)	9,300	0,93
Karbon dioksida (CO ₂)	320	0.032
Neon (Ne)	18	1,8 x 10 ⁻³
Helium (He)	5,2	5,2 x 10 ⁻⁴
Metana (CH ₄)	1,5	1,5 x 10 ⁻⁴
Krypton (Kr)	1,0	1,0 x 10 ⁻⁴
H ₂	0,5	5,0 x 10 ⁻⁵
H ₂ O	0,2	2,0 x 10 ⁻⁵
CO	0,1	1,0 x 10 ⁻⁵
Xe	0,08	8,0 x 10 ⁻⁶
O ₃	0,02	2,0 x 10 ⁻⁶
NH ₃	0,006	6,0 x 10 ⁻⁷
NO ₂	0,001	1,0 x 10 ⁻⁷
NO	0,0006	6,0 x 10 ⁻⁸
SO ₂	0,0002	2,0 x 10 ⁻⁸
H ₂ S	0,0002	2,0 x 10 ⁻⁸

(Gidding, 1973).

Apabila bahan pencemar tersebut dari hasil pengukuran dengan parameter yang telah ditentukan oleh WHO konsentrasi bahan pencemarnya melewati ambang batas (konsentrasi yang masih bisa diatasi), maka udara dinyatakan dalam keadaan tercemar. Pencemaran udara terjadi apabila mengandung satu macam atau lebih bahan pencemar diperoleh dari hasil proses kimiawi seperti gas-gas CO, CO₂, SO₂, SO₃, gas dengan konsentrasi tinggi atau kondisi fisik seperti suhu yang sangat tinggi bagi ukuran manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan. Adanya gas-gas tersebut dan partikulat-partikulat dengan konsentrasi melewati ambang batas, maka udara di daerah tersebut dinyatakan sudah tercemar. Dengan menggunakan parameter konsentrasi zat pencemar dan waktu lamanya kontak antara bahan pencemar atau polutan dengan lingkungan (udara), WHO menetapkan empat tingkatan pencemaran sebagai berikut:

- Pencemaran tingkat pertama; yaitu pencemaran yang tidak menimbulkan kerugian bagi manusia.
- Pencemaran tingkat kedua; yaitu pencemaran yang mulai menimbulkan kerugian bagi manusia seperti terjadinya iritasi pada indra kita.
- Pencemaran tingkat ketiga; yaitu pencemaran yang sudah dapat bereaksi pada faal tubuh dan menyebabkan terjadinya penyakit yang kronis.
- Pencemaran tingkat keempat; yaitu pencemaran yang telah menimbulkan sakit akut dan kematian bagi manusia maupun hewan dan tumbuh-tumbuhan (Lutfi, 2009).

Ada beberapa jenis pencemaran udara, yaitu (Sunu, 2001):

1. Berdasarkan tempat

- a. Pencemaran udara dalam ruang (*indoor air pollution*) yang disebut juga udara tidak bebas seperti di rumah, pabrik, bioskop, sekolah, rumah sakit, dan bangunan lainnya. Biasanya zat pencemarnya adalah asap rokok, asap yang terjadi di dapur tradisional ketika memasak dan lain-lain.
- b. Pencemaran udara luar ruang (*outdoor air pollution*) yang disebut juga udara bebas seperti asap dari industri maupun kendaraan bermotor.

2. Berdasarkan gangguan atau efeknya terhadap kesehatan

- a. Irritansia, adalah zat pencemar yang dapat menimbulkan iritasi jaringan tubuh, seperti SO₂, Ozon, dan Nitrogen Oksida.
- b. Aspeksia, adalah keadaan dimana darah kekurangan oksigen dan tidak mampu melepas karbon dioksida. Gas penyebab tersebut seperti CO, H₂S, NH₃, dan CH₄.
- c. Anestesia, adalah zat yang mempunyai efek membius dan biasanya

merupakan pencemaran udara dalam ruang. Contohnya: *Formaldehide* dan Alkohol.

d. Toksik, adalah zat pencemar yang menyebabkan keracunan. Zat penyebabnya seperti Timbal, Cadmium, Fluor, dan Insektisida.

3. Berdasarkan susunan kimia

a. Anorganik adalah zat pencemar yang tidak mengandung karbon seperti asbestos, ammonia, asam sulfat dan lain-lain.

b. Organik adalah zat pencemar yang mengandung karbon seperti pestisida.

4. Berdasarkan asalnya

a. Primer adalah suatu bahan kimia yang ditambahkan langsung ke udara yang menyebabkan konsentrasinya meningkat dan membahayakan. Contohnya: CO₂, yang meningkat diatas konsentrasi normal.

b. Sekunder adalah senyawa kimia berbahaya yang timbul dari hasil reaksi antara zat polutan primer dengan komponen alamiah. Contohnya: *Peroxy Acetil Nitrat (PAN)*.

Ada tiga cara masuknya bahan pencemar udara ke dalam tubuh manusia yaitu melalui inhalasi, ingestasi dan penetrasi kulit. Inhalasi adalah masuknya bahan pencemar ke tubuh manusia melalui system pernapasan. Bahan pencemar ini dapat mengakibatkan gangguan pada paru – paru dan saluran pernapasan, selain itu bahan pencemar ini kemudian masuk ke peredaran darah dan menimbulkan akibat pada alat tubuh lain. Bahan pencemar udara yang berdiameter cukup besar tidak jarang masuk ke saluran pencernaan (ingestasi) ketika makan atau minum.

Bahan pencemar yang masuk ke dalam pencernaan dapat menimbulkan efek lokal dan dapat pula menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah. Permukaan kulit dapat juga

menjadi pintu masuk bahan pencemar dari udara, sebagian besar pencemar hanya menimbulkan akibat buruk pada bagian permukaan kulit seperti dermatitis dan alergi saja, tetapi sebagian lain khususnya pencemaran organik dapat melakukan penetrasi kulit dan menimbulkan efek sistemik (Budiyono, 2001).

B. Nitrogen Oksida

Pencemaran gas NO_x di udara terutama berasal dari gas buangan hasil pembakaran yang keluar dari generator pembangkit listrik stasioner atau mesin - mesin yang menggunakan bahan bakar gas alami. Keberadaan NO_x di udara dapat dipengaruhi oleh sinar matahari yang mengikuti daur reaksi fotolitik NO₂ sebagai berikut :



Nitrogen oksida sering disebut dengan NO_x karena oksida nitrogen mempunyai 2 bentuk yang sifatnya berbeda, yakni gas NO₂ dan gas NO. Sifat gas NO₂ adalah berwarna dan berbau, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau. Warna gas NO₂ adalah merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung. Kadar NO_x diudara daerah perkotaan yang berpenduduk padat akan lebih tinggi dari daerah pedesaan yang berpenduduk sedikit. Hal ini disebabkan karena berbagai macam kegiatan yang menunjang kehidupan manusia akan menambah kadar NO_x di udara, seperti transportasi, generator pembangkit listrik, pembuangan sampah dan lain-lain (Nurhasmawaty, 2003).

Kedua bentuk nitrogen oksida, NO dan NO₂, sangat berbahaya bagi manusia.

Namun, penelitian aktivitas mortalitas kedua komponen tersebut menunjukkan bahwa NO_2 empat kali lebih berbahaya dibanding NO (Fardiaz, 1992). Berdasarkan ASTDR gas NO_2 mempunyai berat molekul 46 dalton, titik didih 21°C , titik beku -11°C dan tekanan uap 720 mmHg pada 20°C . Gas NO_2 yang terkandung dalam udara jika melebihi batas standar kesehatan sesuai dengan peraturan pemerintah Nomor 41 tahun 1999 dalam Baku Mutu Udara Ambien (BMUA) tentang pengendalian pencemaran udara yaitu $400\ \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ selama pengukuran 1 jam dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup terutama manusia karena dapat menyebabkan gangguan pernapasan (KLH, 2007). Organ tubuh yang paling peka terhadap pencemaran gas NO_2 adalah paru-paru.

Paru-paru yang terkontaminasi oleh gas NO_2 akan membengkak sehingga penderita sulit bernafas yang dapat mengakibatkan kematian. Udara yang tercemar oleh gas nitrogen dioksida tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan saja, tetapi juga berbahaya bagi kehidupan tanaman. Pengaruh gas NO_2 pada tanaman antara lain timbulnya bintik-bintik pada permukaan daun.

Pada konsentrasi lebih tinggi, gas tersebut dapat melukai daun – daunan (akut) serta menurunkan produksinya (Soedomo, 2001). Pencemaran udara oleh gas NO_2 juga dapat menyebabkan timbulnya *Peroxy Acetil Nitrates* yang disingkat dengan PAN yang dapat menyebabkan iritasi pada mata sehingga mata terasa pedih dan berair (Nurhasmawati, 2010).

C. Sampling Udara

Ditinjau dari tujuan dan lokasinya, sampling udara dapat dibedakan menjadi sampling ambien dan sampling sumber emisi. Sampling pencemaran ambien biasanya digunakan untuk memenuhi dan mematuhi baku mutu udara ambien, menyediakan data untuk evaluasi kualitas

udara dan observasi terhadap kecenderungan adanya pencemaran. Sedangkan sampling sumber emisi digunakan untuk mengetahui besaran emisi pencemar untuk dibandingkan dengan baku mutu emisi, mengetahui tingkat emisi dari laju produksi dan melakukan pemantauan kinerja alat pencegahan pencemaran (Soedomo,1999).

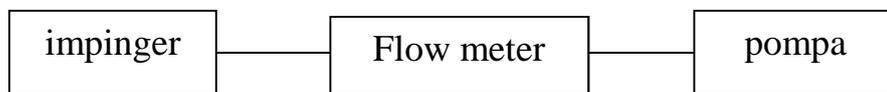
Ada beberapa cara pengambilan contoh dari udara yaitu dengan *test tube detector*, *impinger*, botol sampling, absorpsi dan adsorpsi. Di antara metode sampling tersebut, metode sampling dengan menggunakan *impinger* merupakan metode sederhana untuk pengambilan contoh dengan penerapan yang lebih luas. Selain itu peralatan dapat dibuat sendiri demikian pula dengan reagenya. Ketelitian hasil analisis cukup memadai dan metode sampling ini dapat digabungkan dengan metode pengukuran dalam laboratorium baik secara konvensional maupun instrumental (Agustini dkk, 2005). Tabung *impinger* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tabung *impinger*

Berdasarkan prinsip reaksi kimia larutan penangkap dengan gas pencemar, analisis dilakukan terhadap hasil reaksi yang terjadi. Dalam metode ini udara dalam jumlah tertentu ditarik oleh *impinger* melalui laju alir tertentu yang stabil. Cairan pengabsorpsi bereaksi dengan

komponen gas yang tertangkap dan membentuk substansi spesifik dan stabil. Keberhasilan metode sampling *impinger* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : kesempurnaan absorpsi gas oleh larutan penangkap, ketepatan pada pengukuran volume udara yang dipengaruhi kestabilan pompa, ketelitian analisis laboratorium dan perhitungan serta pemeliharaan alat (Sugiana dan Wahyudi, 2008). Rangkaian alat *impinger* terdiri dari tabung *impinger*, *flow* meter dan vakum pompa. Rangkaian alat *impinger* dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat *impinger*

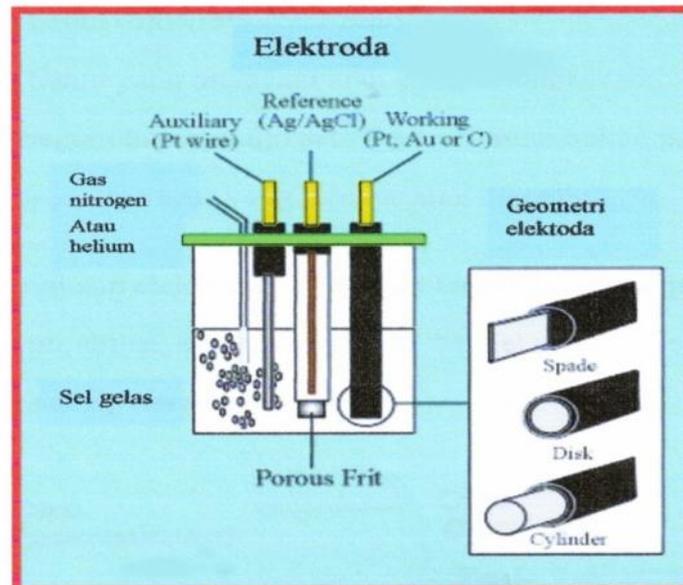
Dalam menganalisis udara, data meteorologi sangat penting artinya dalam memperkirakan kualitas udara dan iklim. Data utama yang diperlukan mencakup:

1. Pola arah dan kecepatan angin dalam bentuk bunga angin
2. Radiasi sinar matahari dan lama waktu penyinarannya
3. Kelembaban udara dalam persentase humiditas
4. Curah hujan dan jumlah hari ujan
5. Profil *temperature vertical* yang bekerja
6. Penutupan awan

Data ini selain menjadi data masukan utama dalam perkiraan pola penyebaran dan difusi pencemaran udara, juga akan menjadi data rona awal dalam perkiraan dampak yang mungkin timbul terhadap iklim setempat seperti perubahan temperature , perubahan curah hujan dan penyebarannya (Soedomo, 2001).

D. Voltammetri Siklik

Voltammetri merupakan elektrolisis dalam ukuran skala mikro dengan menggunakan mikro elektroda kerja, disebut juga teknik arus voltase. Potensial dari mikro elektroda kerja divariasikan dan arus yang dihasilkan dicetak sebagai fungsi dari potensial. Hasil cetakan ini disebut voltammograf (Christian, 1994). Voltammetri siklik merupakan salah satu dari teknik elektrokimia yang menggunakan selusur potensial lurus berbentuk siklik. Untuk eksitasinya yaitu elektroda kerja (Pt, Au, C, Ag dan lain – lain), elektroda acuan (Ag/AgCl, SCE dan Normal Hidrogen Elektroda (NHE)) dan elektroda bantu (Pt) yang dicelupkan dalam larutan yang mengandung analit elektroaktif dan elektrolit pendukung (Hardoko, 2006). Elektroda yang digunakan dalam voltammetri siklik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Elektroda yang digunakan dalam voltammetri siklik (Biol-pasley, 2000)

Dalam sel yang digunakan untuk penentuan elektroanalitik selalu digunakan tiga elektroda yaitu:

1. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi kimia. Elektroda yang sering digunakan adalah platina, emas dan perak. Elektroda indikator karbon merupakan elektroda yang paling inert, karbon digunakan pada proses oksidasi dan reduksi dalam larutan berair dan larutan tidak berair.

2. Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding ideal harus memiliki beberapa sifat yaitu harus reversible, mengikuti persamaan Nernst berkenaan dengan beberapa jenis elektrolit dan memiliki potensial yang stabil.

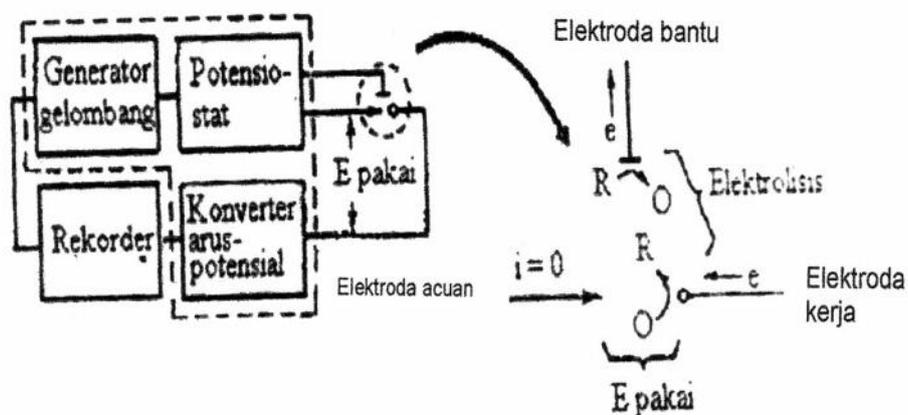
3. Elektroda bantu

Elektroda bantu yang melayani atau sebagai sumber untuk elektron melewati bagian luar menuju sel. Secara umum bukan potensial sesungguhnya atau arus yang terukur.

Pengukuran elektrokimia umumnya menggunakan elektrolit pendukung. Elektrolit pendukung berfungsi untuk mengurangi resistensi larutan, mengurangi dampak elektromigrasi dan mempertahankan kekuatan ion agar tetap konstan. Larutan elektrolit pendukung harus bersifat inert seperti garam anorganik, asam mineral atau buffer (Wang, 2001). Konsentrasi elektrolit pendukung jauh lebih besar daripada konsentrasi larutan elektroaktif dan biasanya konsentrasi elektrolit yang digunakan yaitu 0,01 – 1,0 M. Elektrolit pendukung harus bersifat inert dalam daerah potensial yang digunakan sehingga tidak bereaksi dengan elektroda (Brett and Ana, 1993).

Voltammetri siklik merupakan teknik voltammetri dimana arus diukur selama penyapuan potensial dari potensial awal ke potensial akhir dan kembali lagi ke potensial awal yang disebut juga dengan *scanning* yang dapat dibalik kembali setelah reduksi berlangsung. Dengan demikian arus katodik maupun anodik dapat terukur. Arus katodik adalah arus yang digunakan pada saat penyapuan dari arus yang paling besar menuju arus yang paling kecil dan arus anodik adalah sebaliknya (Skoog, 1991).

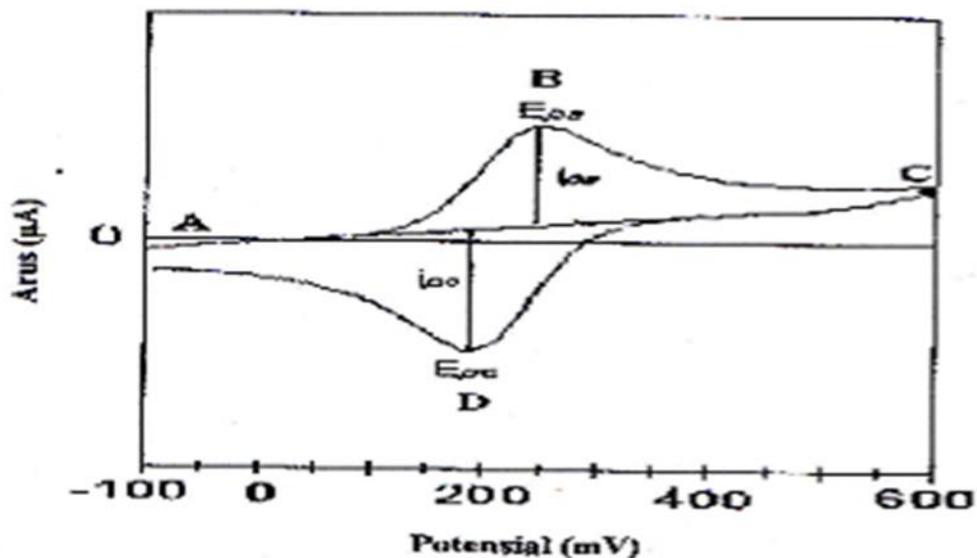
Potensial yang diberikan (potensial antara elektroda kerja-elektroda acuan) akan dikendalikan oleh potensiostat sehingga menyebabkan arus mengalir di antara elektroda kerja dan elektroda bantu untuk mempertahankan potensial yang dikehendaki. Eksperimen ini dimulai dengan memilih jendela potensial yang dibatasi oleh potensial awal dan potensial akhir. Dimana zat elektroaktif mula-mula dioksidasi dan kemudian direduksi atau sebaliknya. Selusur potensial dengan laju yang konstan ($\nu = dE/dt$), dimulai dari potensial awal (E_s) sepanjang jendela potensial sampai potensial akhir (E_f). Kemudian arah laju selusur potensial (ν) kembali ke potensial awal (Rudolph *et al.*, 1994 dalam Hardoko, 2006). Bagan Instrumentasi voltammetri dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan Instrumentasi Voltammetri (Heineman, 1984 dalam Hardoko,

2006).

Respon voltammeter siklik dinyatakan sebagai arus terhadap potensial yang disebut voltammogram siklik (Gambar 5).



Gambar 5. Voltammogram siklik (E_{pa} = potensial puncak anodik; E_{pc} = potensial puncak katodik; i_{pa} = arus puncak anodik; i_{pc} = arus puncak katodik (Biol-pasley, 2000).

Arus puncak (i_p) dideskripsikan dengan persamaan Randles-Sevcik :

$$I_p = 0,04463 F (F/RT)^{1/2} n^{3/2} AD^{1/2} C \quad (1)$$

Keterangan :

n adalah jumlah mol elektron yang ditransfer dalam reaksi; A adalah daerah elektroda; C adalah konsentrasi analit dalam mol/cm³; D koefisien difusi, dan i_p laju arus (Tissue, 2000).

Nilai i_{pc} dipengaruhi oleh faktor kinetik dari reaksi kimia, yaitu konstanta laju reaksi kimianya (Sawyer, 1995). Harga k_f untuk reaksi elektrokimia dapat dihitung menggunakan metode Nicholson-Shain dengan melihat hubungan perbandingan arus puncak katodik dan

arus puncak anodik (i_{pa}/i_{pc}) pada perubahan laju selusur potensial. Persamaan yang dipakai untuk menghitung nilai banding i_{pa}/i_{pc} terkoreksi adalah :

$$\frac{i}{i} = \frac{(i)_{o}}{i} + \frac{0,485(i)_{o}}{i} + 0,086 \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:

i_{pc} adalah arus puncak katodik, i_{pa} adalah arus puncak anodik, $(i_{pc})_{o}$ adalah tinggi puncak proses reduksi dari garis dasar, dan $(i)_{o}$ adalah jarak antara awal terjadinya proses reduksi ke garis dasar (Ewing, 1975).