BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara menurut Undang-undang No. 23 tahun 1997 dapat didefinisikan sebagai proses masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga kualitasnya turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya. Menurut Sumarna *et al* dalam Sasongko (1998), cemaran udara diklasifikasikan menjadi 2 kategori berdasar cara masuknya yaitu cemaran primer (cemaran yang diemisikan secara langsung dari sumber cemaran) dan cemaran sekunder (cemaran yang terbentuk oleh proses kimia di atmosfer). Zat cemaran udara yang utama adalah oksida nirogen (NO_x), Sulfur hidroksida (SO_x), Hidro karbon (HC), oksida karbon (CO_x) dan partikulat.

Oksida Nitrogen (NO_x) merupakan pencemar primer yang paling banyak dijumpai di udara. Jenis oksida nitrogen yang menyebabkan pencemaran udara adalah N_2O, NO dan NO_2. Nitrogen dioksida jika bereaksi dengan uap air di udara akan membentuk asam nitrat yang menyebabkan hujan asam. Hujan asam dapat merusak pertanian dan peternakan (Tjasjono, 1999).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2 Faktor Meteorologi Cemaran Udara

2.2.1 Angin

Angin ialah gerakan udara yang sejajar dengan permukaan bumi (Tjasjono, 1999). Gerakan udara menurut Sasongko (1998), mengakibatkan difusi (pengenceran) dan perpindahanasi kontaminan udara. Ukuran turbulensi kecil dari kepulan (*plume*) atau awan kontaminan menyebabkan terjadi proses difusi, bila lebih besar akan terjadi perpindahanasi. Kecepatan angin menentukan besarnya konveksi paksaan yang timbul pada lapisan batas akibat gesekan antar lapisan udara dan antara udara dengan permukaan tanah. Semakin tinggi kecepatan udara semakin besar terjadinya turbulensi.

Mawar angin sering dipakai dalam mengkaji cemaran udara yaitu untuk menyatakan perubahan kecepatan angin. Mawar angin terdiri dari beberapa garis yang memancar dari pusat lingkaran dan menunjukan ke arah angin berhembus (Tjasjono, 1999).

Arah angin sering dinyatakan dalam dua komponen utama atau sistem koordinat (x,y) yaitu arah barat-timur dan arah selatan-utara. Angin bertiup sering dinyatakan dalam 8 penjuru arah angin, maka komponen barat-timur dari angin paduan dapat ditulis seperti persamaan :

$$\bar{v}_x = \frac{\Sigma B - \Sigma T + 0{,}707(\Sigma BD + \Sigma BL) - 0{,}707(\Sigma T_g + TL)}{n} \qquad (2.1)$$

Komponen selatan-utara

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\bar{v}_y = \frac{\Sigma S - \Sigma U + 0{,}707(\Sigma BD + \Sigma T_g) - 0{,}707(\Sigma TL + BL)}{n} \quad (2.2)$$

Kecepatan angin paduan $\bar{v}$ diperoleh dari akar jumlah kuadrat komponen barat-timur dan komponen selatan-utara sebagai berikut :

$$\bar{v} = \sqrt{\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2} \quad (2.3)$$

dengan :

$\bar{v}$ adalah kecepatan angin dominan

$\bar{v}_x$ adalah kecepatan angin paduan dalam arah barat-timur

$\bar{v}_y$ adalah kecepatan angin paduan dalam arah selatan-utara

n adalah jumlah total pengamatan, termasuk angin tenang

U adalah kecepatan angin arah utara (360^0)

TL adalah kecepatan angin arah timur laut (45^0)

T adalah kecepatan angin arah timur (90^0)

T_g adalah kecepatan angin arah tenggara (135^0)

S adalah kecepatan angin arah selatan (180^0)

BD adalah kecepatan angin arah barat daya (225^0)

B adalah kecepatan angin arah barat (270^0)

BL adalah kecepatan angin arah barat laut (315^0)

(Tjasjono, 1999)

2.2.2 Stabilitas Udara

Kestabilan dan ketidakstabilan udara menurut Boeker (1994), menjadi sangat penting pada saat terjadinya emisi cemaran dari cerobong asap, formasi awan mempengaruhi kestabilan energi di bumi. Stabilitas atmosfer berpengaruh dalam mengendalikan intensitas turbulensi termal (*bouyancy*) dan bentuk kepulan gas emisi cemaran dari cerobong asap (Nastiti, 1997). Menurut Sasongko (1998),

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kestabilan udara didefinisikan sebagai bentuk ketidakseimbangan antara komponen vertikal gaya tekanan (dp) dengan gaya gravitasi. Pelapisan atmosfer disebut tidak stabil bila suatu kolom masa udara yang dipindahkan ke arah vertikal secara adiabatik berjarak dz memperoleh percepatan pengapungan searah dengan perpindahannya. Percepatan pengapungan berlawanan dengan arah perpindahan kolom udara, maka pelapisan udara dikatakan stabil, bila percepatan pengapungan sama dengan nol, maka perlapisan udara dinyatakan netral (Sasongko, 1998).

Stabilitas atmosfer dapat diperkirakan berdasar pengamatan meteorologi permukaan. Penentuan stabilitas atmosfer dapat dilakukan berdasar profil kecepatan angin terhadap ketinggian dan profil temperatur atau gradien temperatur (dT) terhadap ketinggian (dz) atau *lapse rate* terhadap ketinggian, radiasi matahari dan tiupan awan (Nastiti, 1997). Menurut Pasquill, Giffort dan Turner *et al* dalam Tjasjono (1999), mendefinisikan 6 kategori stabilitas atmosfer. Tabel 2.1 menunjukan kriteria stabilitas udara 'Pasquill' sedangkan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) mengkategorikan 4 jenis stabilitas yang dapat dikaitkan dengan kategori stabilitas PGT (Pasquill, Giffort dan Turner), sebagai berikut :

Sangat labil	: kelas A dan B
Labil	: kelas C
Netral	: kelas D
Stabil	: kelas E dan F

(Tjasjono, 1999)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Tabel 2.1 Tabel Stabilitas Udara Pasquill

Stabilitas Atmosfer	Kelas Stabilitas	Laps rate dT/dz (K/100 m)
Sangat tak stabil	A	<-1,9
Tak stabil	B	-1,9 s/d -1,7
Tidak stabil ringan	C	-1,7 s/d -1,5
Netral	D	-1,5 s/d -0,5
Stabil ringan	E	-0,5 s/d 1,5
Stabil	F	>1,5

Sumber : Sasmito (1990)

2.3 Perpindahan Cemaran Udara

Secara umum, perpindahan yang banyak dijumpai pada fenomena fisis adalah perpindahan momentum dalam medium bergerak, perpindahan energi, partikel panas dan perpindahan bahan (Boeker, 1994). Pada fenomena perpindahan cemaran, persamaan aliran yang dipergunakan adalah persamaan difusi dan syaret aliran turbulen. Proses difusi yang terjadi menurut Utomo (1984), adalah proses difusi konsentrasi. Difusi menurut Issac (1997), merupakan proses pencampuran bahan-bahan yang berbeda akibat gerakan acak komponen atom, molekul dan ion.

Model perpindahan yang dipergunakan untuk mendeskripsikan fenomena dispersi cemaran adalah model-K:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\bar{v}\nabla C + K\nabla^2 C + R_i(c_1, c_2, \ldots c_n) + S_i(x, y, z, t) \qquad (2.4)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dengan:

$-\bar{v}\nabla C$ adalah Suku adveksi
$K\nabla^2 C$ adalah Suku difusi
C adalah Konsentrasi cemaran (mgr/m^3)
K adalah Koefisien difusi cemaran (m^2/dt)
$\bar{v}$ adalah Kecepatan angin (m/dt)
R adalah Laju reaksi kimia (mgr/ m^3dt)
S adalah Kekuatan emisi dari sumber (mgr/ m^3dt)

(Baumbach, 1996)

Persamaan untuk menentukan koefisien difusi menurut Sheinfield *et al* dalam Nastiti (1997) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_x = \frac{1}{2}\frac{\partial \sigma_x^2}{\partial t} = \frac{1}{2} v_x \frac{\partial \sigma_x^2}{\partial x} \qquad (2.5)$$

dengan :

K_x adalah Koefisien difusi kearah x (m^2/dt)
x adalah jarak tempuh dari sumber hingga ke titik pantau/penerima (m)
t adalah waktu dari sumber hingga titik pantau/penerima (detik)
$\bar{v}_x$ adalah kecepatan angin dominan kearah sumbu x (m/dt)
σ_x adalah koefisien dispersi arah x (m)

Koefisien difusi merupakan fungsi kuadrat terhadap σ_x waktu tempuh. σ_x merupakan deviasi standar dari angin atau besarnya dispersi relatif terhadap suatu posisi tertentu dari sumber. Nilai σ_x ditentukan berdasar kelas stabilitas udara. Briggs *et al* dalam Nastiti (1997) mengestimasikan harga koefisien dispersi berdasarkan daerah perkotaan dan pedesaan untuk kelas stabilitas Pasquill yang merupakan fungsi jarak dari sumber ke penerima (lihat tabel 2.2).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Table 2.2 Parameter dispersi Briggs untuk daerah urban dengan jarak DownWind (x) 100-10.000 meter

Kelas Stabilitas Pasquill	σ_y (meter)	σ_z (meter)
A-B	$0{,}32x(1+0{,}0004x)^{-0.5}$	$0{,}24x(1+0{,}001x)^{-0.5}$
C	$0{,}22x(1+0{,}0004x)^{-0.5}$	$0{,}2x$
D	$0{,}16x(1+0{,}0004x)^{-0.5}$	$0{,}14x(1+0{,}0003x)^{-0.5}$
E-F	$0{,}11x(1+0{,}0004x)^{-0.5}$	$0{,}08x(1+0{,}0015x)^{-0.5}$

Sumber : Stern *et al* dalam Nastiti (1997)

Menurut Murhadi (1997), nilai koefisien difusi dapat diperoleh berdasarkan nilai stabilitas atmosfer (lihat Tabel 2.3).

Table 2.3 Kelas Stabilitas atmosfer dan koefisien difusi berdasarkan Pasquill-Gifford

Stabilitas Atmosfer	Kelas Stabilitas	Laps rate (K/100 m)	Koefisien difusi (K) m^2/dt
Sangat tak stabil	A	<-1,9	250
Tak stabil	B	-1,9 s/d -1,7	100
Tidak stabil ringan	C	-1,7 s/d -1,5	30
Netral	D	-1,5 s/d -0,5	10
Stabil ringan	E	-0,5 s/d 1,5	3
Stabil	F	>1,5	1

Sumber : Fronza *et al* dalam Murhadi (1997)

2.4 Metode Beda Hingga

2.4.1 Pengertian Metode Beda Hingga

Metode beda-hingga adalah metode yang menggantikan turunan dengan hasil bagi diferensial sehingga diperoleh sistem persamaan linear dengan variabel yang diketahui dari variabel tak bebas persamaan diferensial tersebut (Gultom,

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

1989). Obyek dari metode beda-hingga adalah menyajikan kekontinuan dalam ruang dan waktu menjadi sekelompok titik diskret yang berjarak tertentu (*Vichnevetsky et al* dalam Setyabudi, 2001). Secara lengkap proses penurunan persamaan beda hingga dapat dilihat pada Lampiran B.

2.4.2 Bentuk Persamaan Beda Hingga

Metode beda hingga dapat dituliskan dalam bentuk persamaan umum sebagai berikut :

$$f'(x_i) = \frac{f(x_{i+1}) - f(x_i)}{x_{i+1} - x_i} + 0(x_{i+1} - x_i) \qquad (2.6)$$

Persamaan (2.6) dapat dikembangkan menjadi 3 bentuk metode beda-hingga yaitu :

a. Metode beda-maju

$$\left\{\frac{\partial C_i}{\partial t}\right\}_n \approx \frac{(C_i)_{n+1} - (C_i)_n}{\Delta t_n} \qquad (2.7)$$

b. Metode beda-mundur

$$\left\{\frac{\partial C_i}{\partial t}\right\}_n \approx \frac{(C_i)_n - (C_i)_{n-1}}{\Delta t_n} \qquad (2.8)$$

c. Metode beda-tengah

$$\left\{\frac{\partial C_i}{\partial t}\right\}_{n-\frac{1}{2}} \approx \frac{(C_i)_n - (C_i)_{n-1}}{\Delta t_n} \qquad (2.9)$$

(Hornbeck, 1975)

Menurut Smith (1996), solusi penyelesaian metode beda hingga dapat dituliskan dalam bentuk matrik. Untuk menghasilkan suatu penyelesaian

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

persamaan dengan metode beda hingga yang valid maka harus mengikuti kriteria stabilitas dan konvergensi persamaan Smith (1996).

2.4.3 Kriteria Stabilitas dan Konvergensi

Stabilitas numerik menurut Gerald (1978) adalah suatu nilai *Error* yang konstan pada perhitungan numerik dan tidak menyebabkan kenaikan *Error* saat komputasi dilanjutkan. Sebagai contoh, bentuk penyelesaian dengan beda-hingga :

$$U_{J+1}=\mathbf{A}U_J+b_J \qquad (2.10)$$

Dengan b_J vektor yang diketahui dan A adalah matrik. Bentuk stabilitas normal matrik A adalah :

$$\|A\| \leq 1 \qquad (2.11)$$

(Smith, 1996)

Konvergensi merupakan syarat penentuan nilai Δt atau Δx agar diperoleh suatu kestabilan. Sebagai contoh adalah penetuan nilai Δt dan Δx dari persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9).

2.5 Kondisi Lingkungan Sumber Pencemaran

PT Fumira Semarang terletak di Jl. Setiabudi NO. 104 Semarang, secara geografis terletak pada 421000 mT dan 921600 mU (skala UTM) dan berada di daerah Semarang atas. Kondisi topografi sekitar Pabrik merupakan daerah perbukitan yang tidak datar, terletak ±34100 m arah selatan dari garis pantai utara P. Jawa (Peta lokasi Penelitian Lampiran F)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)