

PENYISIHAN CO₂ AGRESIF DI DALAM AIR DENGAN MEDIA FILTER MARMER

Fadilah, Sri Purwani Widyaningrum, Umi Khoiriyah

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract: *The high concentration of dissolved carbon dioxide causes the water aggressive. Metals can be corroded by this water. Reducing the concentration of dissolved carbon dioxide can be done by flowing water through the bed of marble. The objective of this research is to find the overall rate constant of reducing dissolved carbon dioxide using bed of marble and the influence of the particle diameter to the overall rate constant.*

The research is conducted by flowing water contained certain dissolved carbon dioxide in a bed of marble. In a certain time interval, the concentration of dissolved carbon dioxide of effluent water was analyzed by titration.

The proposed mathematical model fits the data with relative small errors. The smaller of the particle diameter, the higher of the overall rate constant is obtained. It is found for 35 cm bed height, 3,5 cm column diameter and flow rate 8 ml/second, the overall rate constant are $1,66E-02 \text{ second}^{-1}$ for 0,99 mm average diameter, $8,16E-03 \text{ second}^{-1}$ for 1,76 mm average diameter, and $6,77E-3 \text{ second}^{-1}$ for 3,55 mm average diameter.

Keywords : *Aggressive, marmer, overall rate constant.*

PENDAHULUAN

Air merupakan bahan yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia dan fungsinya bagi kehidupan tidak pernah dapat digantikan oleh senyawa lain. Sumber air yang dapat dimanfaatkan pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu air hujan, air tanah dan air permukaan. Pemanfaatan ketiga sumber air tersebut bagi kehidupan manusia harus memenuhi persyaratan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Ketentuan tersebut dibatasi pada batas minimum dan batas maksimum bahan pencemar yang terkandung di dalam air, baik air untuk keperluan sanitasi maupun air untuk keperluan industri.

Air hujan dan kebanyakan persediaan air permukaan mengandung sejumlah kecil karbondioksida (biasanya kurang dari 5 mg/l), tetapi air tanah dapat mengandung jumlah yang banyak akibat pembusukan biologis dari bahan-bahan organik. Adanya karbon dioksida merupakan hal yang penting karena akan mempengaruhi pH air dan dapat menimbulkan karat bagi kebanyakan sistem pipa dan mempengaruhi kebutuhan dosis dalam pengolahan

kimiaawi, juga dapat merusak peralatan—peralatan yang terbuat dari logam maupun semen (Linsley, 1985). Oleh karena itu konsentrasi yang tinggi dari CO₂ agresif perlu diturunkan.

Ada beberapa metode yang dapat diterapkan untuk mengurangi kadar CO₂ dalam air, antara lain :

1. Proses aerasi
2. Pembubuhan zat kimia seperti kapur (CaO) ke dalam air
3. Melewatkan air pada saringan (filter) marmer.

(Winarno, 1986)

Penurunan CO₂ agresif dengan saringan marmer mempunyai kelebihan karena dapat dilakukan secara kontinyu yaitu dengan melewati air dalam tumpukan batu marmer (*bed*) sehingga dapat menghemat biaya operasi dan biaya perawatan untuk instalasi pengolahan air.

LANDASAN TEORI

Di dalam air tanah konsentrasi karbondioksida tinggi akibat pembusukan biologis dari bahan-bahan organik. Kadar CO₂ dalam air yang melebihi 10 mg / liter menyebabkan CO₂ bersifat agresif dan menyebabkan turunnya pH air. Hal ini menyebabkan

air menjadi bersifat korosif sehingga akan merusak peralatan terutama yang terbuat dari logam (Linsley, 1985).

Cara yang digunakan untuk mencegah terjadinya korosi adalah dengan mengurangi kandungan gas terlarut, khususnya gas-gas yang dapat menyebabkan korosi yaitu oksigen dan karbondioksida (Winarno, 1986).

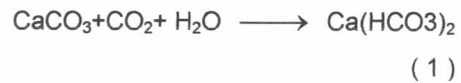
Semua karbondioksida dapat dihilangkan dengan cara aerasi tetapi kelemahan cara ini akan meningkatkan kandungan oksigen terlarut. Saringan yang terdiri atas lapisan *coke*, setebal 15 cm dapat mereduksi karbondioksida dari 100 menjadi 10 mg/l dan menaikkan pH dari 6,0 menjadi 7,0. Sisa karbondioksida yang tertinggal dapat dihilangkan dengan penambahan natrium karbonat atau natrium hidroksida. Hasil yang sama dapat dilakukan dengan menyaring air melalui pecahan-pecahan kapur (*limestone*) atau kepingan-kepingan marmer (Winarno, 1986).

Pada penelitian ini, proses penyisihan CO_2 agresif dalam air dilakukan dengan jalan mereaksikan CO_2 dalam air baku dengan batu marmer (CaCO_3) dalam sebuah kolom silinder yang terbuat dari kaca.

Untuk menyusun model kinetik teoritis yang bisa mendekati model kinetik reaksi antara CO_2 dalam air dengan batu marmer dalam kolom silinder, maka diambil asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Reaksi antara CO_2 dalam air dan CaCO_3 (media marmer) terjadi sejak air baku melewati reaktor.
2. Aliran bersifat *plug flow*.
3. Reaksi berlangsung di permukaan padatan secara *irreversible* dan isothermal.
4. Volume dan sifat fisis campuran tetap
5. Konsentrasi CaCO_3 pada padatan tetap
6. Lapisan batas antara cairan dan padatan dianggap sangat tipis.

Reaksi antara CO_2 dalam air dan batu marmer (CaCO_3) berlangsung menurut reaksi berikut :

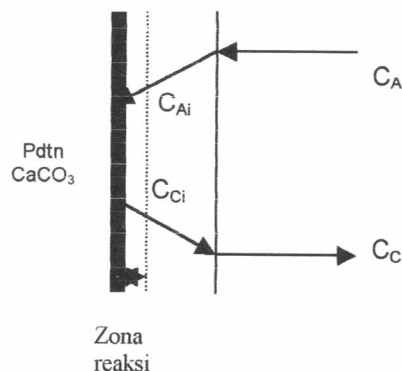


Reaksi pembentukan kalsium bikarbonat $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ merupakan reaksi antara cairan dan padatan. Mekanisme reaksi dapat didekati dengan dua kemungkinan, yaitu:

1. Zat padat dianggap tidak ada yang larut dan reaksi terjadi pada permukaan zat padat. Langkah-langkah pada proses ini meliputi:
 - Perpindahan massa CO_2 dari larutan ke lapisan antara cairan dengan permukaan padatan.
 - Reaksi kimia pada permukaan butir padatan.
 - Perpindahan massa zat hasil reaksi dari permukaan padatan ke dalam larutan.
2. Zat padat ada yang larut kemudian terjadi reaksi di fasa cair.

Daya larut CaCO_3 dalam air sangat kecil sekali, yaitu sebesar $0,87 \cdot 10^{-8}$ g/mol/liter air pada tekanan 1 atm dan suhu 25°C sehingga bisa dianggap bahwa mekanisme reaksi mengikuti mekanisme nomor satu (Degremont, 1979).

Mekanisme reaksi antara CO_2 dalam air baku dengan batu marmer dapat dijelaskan pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Mekanisme perpindahan massa CO_2 ke batu marmer

Mekanisme yang terjadi meliputi tiga tahap :

1. Perpindahan massa CO_2 dari cairan ke lapisan antara cairan dengan permukaan padatan.
2. Reaksi kimia pada permukaan butir padatan.
3. Perpindahan massa zat hasil reaksi dari permukaan butir padatan ke dalam larutan.

Langkah 1

Perpindahan massa CO_2 dari cairan ke permukaan butir padatan melalui film cairan, didekati dengan persamaan :

$$N_A = K_c \cdot a \cdot (C_A - C_{Ai}) \quad (2)$$

Langkah 2

Reaksi kimia pada permukaan butir padatan didekati dengan persamaan:

$$-r_A = K_{r1} \cdot C_{Ai} \cdot C_B \quad (3)$$

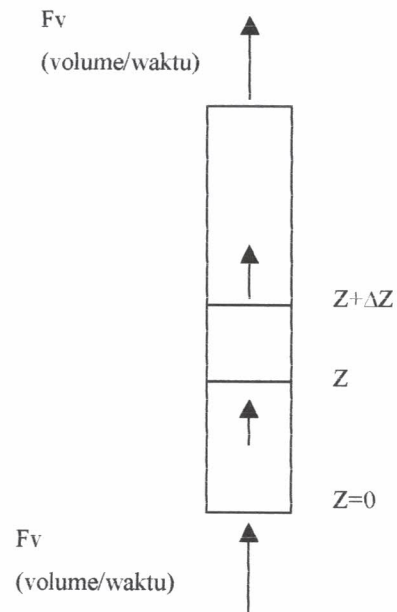
Harga C_B dianggap selalu konstan, maka kecepatan reaksi dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} -r_A &= K_{r1} \cdot C_{Ai} \cdot C_B \\ (C_B &= \text{konstan}) \\ -r_A &= K_{r2} \cdot C_{Ai} \quad (K_{r2} = K_{r1} \cdot C_B) \end{aligned} \quad (4)$$

Langkah 3

Dianggap bahwa konsentrasi hasil reaksi di cairan selalu dalam keadaan seimbang, sehingga kecepatan desorpsi hasil dapat diabaikan terhadap kecepatan keseluruhan

Persamaan matematis diajukan untuk menghitung kadar CO_2 dalam air di dalam kolom pada berbagai posisi dan waktu.



Gambar 2. Kolom Kaca Dengan Bahan Isian

Ditinjau suatu elemen volume dengan jarak Z dari tempat masukan dengan tebal ΔZ maka neraca massa CO_2 pada fasa cair dalam elemen volume $S \cdot \Delta Z$:

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{input} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{output} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{reaction} \end{array} \right] &= \left[\begin{array}{c} \text{Rate of} \\ \text{accumulation} \end{array} \right] \\ [F_v \cdot C_A]_Z - [F_v \cdot C_A]_{Z+\Delta Z} - [(-r_A) \cdot S \cdot \Delta Z \cdot \epsilon] &= \frac{\partial}{\partial t} [S \cdot \Delta Z \cdot \epsilon \cdot C_A] \end{aligned} \quad (5)$$

dibagi dengan $S \cdot Z$, menjadi

$$-\frac{F_v}{S} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial Z} - (-r_A) \cdot \epsilon = \epsilon \cdot \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (6)$$

Diambil limit Z mendekati 0, sehingga diperoleh:

$$-\frac{F_v}{S \cdot \epsilon} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial Z} - (-r_A) = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (7)$$

Pada kesetimbangan, kecepatan reaksi kimia pada permukaan butir padatan = kecepatan perpindahan massa CO_2 dari

cairan ke permukaan butir padatan, sehingga :

$$Kr_2.C_{Ai} = K_{ca}.(C_A - C_{Ai}) \quad (8)$$

$$C_{Ai}.(Kr_2 + K_{ca}) = K_{ca}.C_A \quad (9)$$

$$C_{Ai} = \frac{K_{ca}.C_A}{Kr_2 + K_{ca}} \quad (10)$$

Persamaan (10) disubstitusikan ke persamaan (4), diperoleh :

$$(-r_A) = \frac{Kr_3.C_A}{Kr_2 + K_{ca}} \quad (11)$$

dengan $Kr_3 = Kr_2.K_{ca}$

$$(-r_A) = Kr_4.C_A \quad (12)$$

$$\text{dengan } Kr_4 = \frac{Kr_3}{Kr_2 + K_{ca}}$$

Persamaan (12) disubstitusikan ke persamaan (7) diperoleh :

$$-\frac{F_v}{S.E} \cdot \frac{\partial C_A}{\partial Z} - Kr_4.C_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (13)$$

dengan kondisi batas (*boundary conditions*):

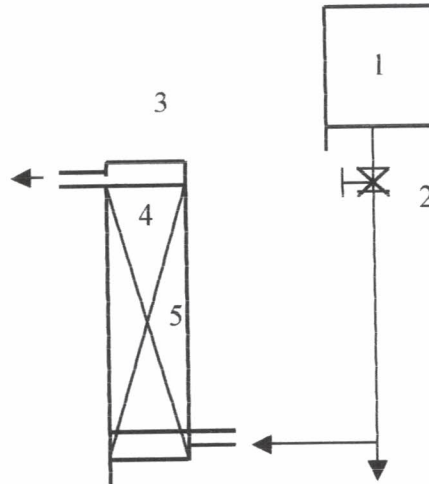
- $t = 0$, semua posisi z , $C_A = C_{A0}$
(konsentrasi awal)
- $t = t$, pada posisi $z = 0$, $C_A = C_{A0}$
- $t = t$, pada posisi $z = L$, $C_A = C_{AL}$

Untuk penyelesaian persamaan (13) dipakai cara *finite difference approximation* implisit.

Harga konstanta keseluruhan kecepatan reaksi pengurangan CO_2 (Kr_4) dapat dihitung dengan menggunakan metode optimasi Golden Section. Harga Kr_4 optimum dapat ditentukan dengan membuat jumlah selisih kuadrat antara C_A hasil perhitungan dengan C_A data percobaan yang memberikan nilai jumlah kuadrat kesalahan (Sum Of Squares Of Errors) .

$$SSE \text{ Minimum} = \sum (C_A \text{ hitung} - C_A \text{ data})^2 = f(Kr_4)$$

METODOLOGI PENELITIAN



Keterangan gambar:

1. Bak penampung air baku dengan sistem tertutup
2. Kran pengatur debit aliran
3. Karet penutup kolom kaca
4. Saringan kawat
5. Media filter marmer

Gambar 5. Unit rangkaian reaktor filtermarmer

Jalan Percobaan

Air baku buatan (artifisial) dialirkan secara kontinyu dari tangki air baku ke dalam reaktor filter marmer. Air baku masuk ke reaktor dari bagian bawah. kecepatan aliran masuk diatur untuk mendapatkan debit yang diinginkan. Setiap selang waktu 10 menit, air yang keluar dari kolom diambil untuk dianalisis kadar CO_2 .

Konsentrasi CO_2 dalam air baku 85 mg/l (1,93 mmol/l), debit aliran 8 ml/detik, tinggi isian marmer 35 cm dan diameter kolom 3,5 cm.

Percobaan dilakukan dengan memvariasi diameter butir marmaer. Digunakan butir marmer dengan ukuran diameter rata-rata 0,9 mm, 1,76 mm dan 3,54 mm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data konsentrasi CO_2 pada berbagai diameter butiran ditampilkan dalam Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Konsentrasi CO_2 Pada Berbagai Variasi Diameter Butir Marmer

Waktu (menit)	Konsentrasi CO_2 (mmol/l)		
	$\varnothing = 0,99$ mm	$\varnothing = 1,76$ mm	$\varnothing = 3,55$ mm
0	1,93	1,93	1,93
10	1,46	1,78	1,75
20	1,44	1,78	1,73
30	1,38	1,70	1,79
40	1,44	1,66	1,79
50	1,34	1,58	1,67
60	1,32	1,64	1,65
70	1,28	1,48	1,49
80	1,28	1,50	1,55
90	1,24	1,42	1,49

Kr_4 didapatkan dari hasil optimasi metode Golden Section. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2, 3, dan 4 dan gambar 6.

Tabel 2. Perbandingan C_A Data Dengan C_A Hitung Pada $\varnothing$ rata-rata 0,99 mm

Waktu (menit)	C_A Data (mmol/l)	C_A Hitung (mmol/l)	Ralat (%)
0	1,93	1,93	0
10	1,46	1,636961	12,1206
20	1,44	1,403905	2,506599
30	1,38	1,319925	4,353255
40	1,44	1,315935	8,615644
50	1,34	1,315927	1,796475
60	1,32	1,315933	0,3081108
70	1,28	1,315942	2,807975
80	1,28	1,315938	2,807649
90	1,24	1,315932	6,123569

Ralat rerata = 4,143988 %
 $Kr_4 = 1,660656\text{E-}02 \text{ detik}^{-1}$

Tabel 3. Perbandingan C_A Data Dengan C_A Hitung Pada $\varnothing$ rata-rata 1,76 mm

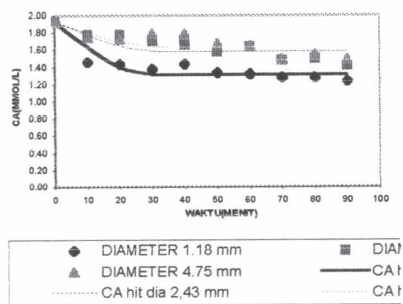
Waktu (menit)	C_A Data (mmol/l)	C_A Hitung (mmol/l)	Ralat (%)
0	1,93	1,93	0
10	1,78	1,779438	3,155968
20	1,78	1,647004	E-02
30	1,70	1,587762	7,471677
40	1,66	1,583637	6,602245
50	1,58	1,583622	4,600193
60	1,64	1,583625	0,229244
70	1,48	1,583634	3,437516
80	1,50	1,583633	7,002265
90	1,42	1,583626	5,575562
			11,52297
			0

Ralat rerata = 4,647323 %
 $Kr_4 = 8.155901\text{E-}03 \text{ detik}^{-1}$

Tabel 4. Perbandingan C_A Data Dengan C_A Hitung Pada $\varnothing$ rata-rata 3,55 mm

Waktu (menit)	C_A Data (mmol/l)	C_A Hitung (mmol/l)	Ralat (%)
0	1,93	1,93	0
10	1,75	1,804057	3,088972
20	1,73	1,691017	2,253345
30	1,79	1,636837	8,556577
40	1,79	1,632501	8,798811
50	1,67	1,632482	2,246581
60	1,65	1,632484	1,061562
70	1,49	1,632494	9,563210
80	1,55	1,632493	5,322164
90	1,49	1,632487	9,562873

Ralat rerata = 5,045409 %
 $Kr_4 = 6,771479\text{E-}03 \text{ detik}^{-1}$



Gambar 6. Hubungan antara C_A dengan waktu pada berbagai diameter butir marmer

Pengaruh Diameter Butir Marmer

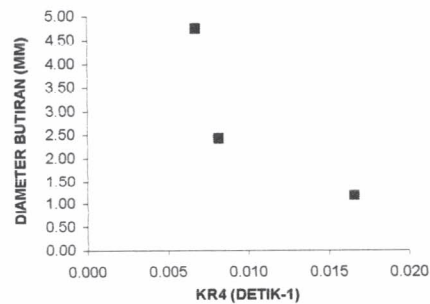
Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa konsentrasi CO_2 keluar kolom pada waktu yang sama dipengaruhi oleh diameter butir marmer. Semakin besar butir marmer maka konsentrasi CO_2 keluar kolom pada selang waktu yang sama semakin besar.

Nilai Kr_4 dipengaruhi oleh diameter butir. Hubungan antara diameter butir marmer dengan konstanta keseluruhan reaksi pengurangan kadar CO_2 dalam air baku dapat dilihat pada tabel 5 sebagai berikut :

Tabel 5. Hubungan Antara Diameter Butiran Dengan Kr_4

Diameter Butiran (mm)	Kr_4 (detik ⁻¹)
0,99	1,660656E-02
1,76	8,155901E-03
3,55	6,771479E-03

Jika tabel 5 disajikan dalam bentuk grafik, maka diperoleh gambar 10 sebagai berikut:



Gambar 7. Hubungan Antara Diameter Butiran Dengan Kr_4

Dari gambar 7, terlihat bahwa semakin besar ukuran diameter butir marmer, maka nilai konstanta kecepatan reaksi keseluruhan semakin kecil. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang lebih kecil akan memperbesar luas permukaan kontak transfer massa tiap satuan volume kolom.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- Pemodelan matematika yang diajukan dapat mewakili peristiwa transfer massa dan reaksi kimia yang terjadi pada proses penurunan konsentrasi CO_2 agresif dalam air dengan media filter marmer.
- Konstanta kecepatan reaksi keseluruhan adalah sebesar :
 - Diameter rata-rata 0.9 mm, $Kr_4 = 1,660656E-02$ detik⁻¹.
 - Diameter rata-rata 1,7 mm, $Kr_4 = 8,155901E-03$ detik⁻¹.
 - Diameter rata-rata 3,54 mm, $Kr_4 = 6,771479E-03$ detik⁻¹.
- Pada kisaran diameter butir yang diamati konstanta keseluruhan kecepatan reaksi pengurangan CO_2 agresif (Kr_4) akan semakin besar jika diameter butir semakin kecil.

2. Saran

Penelitian ini masih perlu untuk dikembangkan lebih jauh lagi dengan menggunakan peubah-peubah yang lain, sehingga nantinya diperoleh proses yang optimum dan juga dapat diaplikasikan secara nyata.

DAFTAR DAN ARTI LAMBANG

N_A	= Transfer massa CO_2 tiap satuan waktu (mol CO_2 /liter.detik)
C_{A0}	= Konsentrasi CO_2 mula-mula (mol / l)
C_A	= Konsentrasi CO_2 dalam larutan (mol / l)
C_{Ai}	= Konsentrasi CO_2 pada permukaan padatan (mol / l)
C_B	= Konsentrasi $CaCO_3$ pada permukaan padatan (mol / l)
$Kc.a$	= Koefisien transfer massa volumetris (detik ⁻¹)
$-r_A$	= Kecepatan berkurangnya CO_2 dalam larutan (mol CO_2 /liter.detik)
Kr_1	= Konstanta kecepatan reaksi (liter/detik.mol)
Kr_4	= Konstanta kecepatan keseluruhan (detik ⁻¹)
S	= Luas penampang kolom (cm ²)
ε	= Porositas bed
F_v	= Kecepatan aliran larutan dalam kolom (ml/detik)
Z	= Tinggi isian dalam kolom (cm)
t	= Waktu (detik)

DAFTAR PUSTAKA

- Fair, G.M. and Okun, J.C., 1970, **Elements of Water Supply and Waste Water Disposal**, 2 nd edition, John Wiley and Sons Inc, New York.
- Galaerts and Santica, S.S., 1984, **Metoda penelitian air**, hal. 74 -76, Surabaya.
- Letterman, R.D., 1999, **Water Quality and Treatment**, Fifth edition, McGraw-Hill Inc., New York.
- Linsley, R.K., 1985, **Teknik Sumber Daya Air**, Jilid dua, hal. 108, Edisi ketiga, Erlangga.
- Powell, S.T., 1954, **Water Conditioning in Industry**, McGraw-Hill Inc., New York.

- Sediawan, W.B. dan Prasetya, A., 1997, **Pemodelan Matematis Dan Penyelesaian Numeris dalam Teknik Kimia dengan Pemrograman Bahasa Basic dan Fortran**, Edisi satu, hal. 103-104, Andi Offset, Yogyakarta.
- Winarno, F.G., 1986, **Air untuk Industri Pangan**, Gramedia, Jakarta.