

*Skripsi Fisika*

**MODEL PERSEBARAN GAS H<sub>2</sub>S SECARA KONVEKSI PADA  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LOSARI**



**OLEH**

**DESSY NATALIA RANTE BETOKY  
H 211 07 012**

**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2012**

*Skripsi Fisika*

**MODEL PERSEBARAN GAS H<sub>2</sub>S SECARA KONVEKSI PADA  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LOSARI**

**OLEH**

**DESSY NATALIA RANTE BETOKY  
H 211 07 012**



*Skripsi ini Diajukan Sebagai Salah satu Syarat untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin*

**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2012**

**Skripsi Fisika**

**MODEL PERSEBARAN GAS H<sub>2</sub>S SECARA KONVEKSI PADA  
INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH LOSARI**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**DESSY NATALIA RANTE BETOKY  
H 211 07 012**

**Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui Oleh:**

**Makassar, Mei 2012**

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**

**Dr. Sri Suryani, DEA  
NIP. 195805081983122001**

**Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc  
NIP .196503051991031008**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada **Allah Bapa** dan kepada **Tuhan Yesus Putra-Nya yang Tunggal** yang telah memberikan karunia kehidupan dan keselamatan. Dan atas penghiburan dan tuntunan **Roh Kudus** dalam setiap langkah kehidupan ini. Hanya dengan penyertaan serta tuntunan-Nyalah sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih serta penghargaan kepada kedua orang tuaku yang terkasih **Dominggus Betoky** dan **Esther** atas segala cinta, kasih sayang dan perhatian yang melimpah yang diberikan kepada penulis. Dan kepada saudara-saudaraku tercinta **K' Asrian** dan **K' Hendra** serta **Adikku Astried** yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan kepada penulis. I Love you Full.

Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc selaku ketua Jurusan Fisika.
2. Ibu Dr. Sri Suryani, DEA selaku pembimbing utama yang telah mencurahkan waktu dan tenaga untuk membimbing penulis.
3. Bapak Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc selaku pembimbing pertama yang juga telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk membimbing penulis.
4. Bapak Eko Juarlin, S.Si, M.Si yang telah banyak membantu dan membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhirnya.
5. Ibu Dr. Sri Suryani, DEA selaku penasehat Akademik yang senantiasa membimbing penulis.

6. Bapak Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc, Ibu Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc Dan Bapak Eko Juarlin, S.Si, M.Si selaku penguji.
7. Bapak dan Ibu dosen dalam lingkup Jurusan Fisika yang telah berkenan berbagi ilmu dengan penulis selama menuntut pendidikan di Jurusan Fisika FMIPA UNHAS.
8. Seluruh staf pegawai Jurusan Fisika, yang selalu membantu dan mendukung penulis.
9. Kepada seluruh sahabatku angkatan 2007: Anak-anak GP(Rahmawati "Watt" Mappe, S.Si, Erniati "Njonkz\_Lulur" Jabir, S.Si, Kusdiyanti "Yank" Ponganan, S.Si dan Oktalia "Ok" Sibala, S.Si) 1 bulan yang tak terlupakan. Novi "K' Ophie" Palentek, S.Si, Ary Sapan Paseru, S.Si, Rinto Suppa, S.Si, Nurhandayani, S.Si, Wilda Angraeni, S.Si, Devi Tri Wahyuni, S.Si, Nur Inzana, S.Si, Arifa Rakhman, S.Si, Lily Ermawati Lukman, S.Si, Mulawarman, S.Si, Muhammad Irfan, S.Si, Sazli Subar,S.Si dan Hendra Purnomo, S.Si. Dan kepada yang masih berjuang bersamaku: Ninda "Tante\_didy" Malape, Rian Andrianto, Kanda Imran , Jus, Mus dan Echa tetap semangat. Serta kepada: Itha, Dinna, Anty, Rianti, Erni, Titin, Umi, Tiwi, Hasna, Erti, Adi, Kino, Basdar, Rusman, Fuad, Rusmin, Cacha, Syawan, Zulfikar dan Fitrah. Masa-Masa Menjadi Mahasiswa Fisika UNHAS semoga akan selalu terukir dalam ingatan kita masing-masing.
10. Kepada seluruh kerabat yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis.

Penulis menyadari tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu saran dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan.

Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat berguna bagi penulis secara pribadi dan seluruh pembaca khususnya demi penyempurnaan tugas akhir berikutnya.

Makassar, Mei 2012

**Penulis**

## ABSTRAK

Gas  $H_2S$  yang ditimbulkan oleh air limbah, sering menjadi masalah pada instalasi pengolahan air limbah. Maka dilakukan penelitian tentang model persebaran gas  $H_2S$  secara konveksi pada instalasi pengolahan air limbah khususnya pada IPAL losari dengan menggunakan metode numerik. Metode numerik yang digunakan adalah metode beda hingga pada persamaan difusi konveksi satu dimensi, yang mana digunakan dua cara, yaitu: cara matriks dan iterasi. pemilihan nilai  $\Delta t$  dan  $\Delta h$  serta banyaknya segmen ( $t$ ) dan segmen ( $h$ ) menentukan tingkat kestabilan numeriknya.

Dengan mengacu pada model serta mempertimbangkan berat jenis gas  $H_2S$ , serta kemungkinan teroksidasinya gas  $H_2S$  menjadi gas lain, maka kemungkinan timbulnya bau maksimal ketinggiannya 2 meter saja.

kata kunci: Air limbah, instalasi pengolahan air limbah, gas  $H_2S$ , persamaan difusi konveksi, metode numerik, metode beda hingga.

## **ABSTRACT**

H<sub>2</sub>S gas generated by waste water, often a problem at the wastewater treatment plant. Then conducted research on the distribution model of H<sub>2</sub>S gas by convection at the wastewater treatment plant at the IPAL Losari especially using numerical methods. Numerical method used is the finite difference method on a one-dimensional convection diffusion equation, which is used in two ways, are matrix method and iteration method. Selection of the value of delta t and delta h and the number of segments (t) and the segment (h) determining the level of numerical stability.

With reference to the model and considering the gravity of H<sub>2</sub>S gas, and the possibility of oxidation of H<sub>2</sub>S gas into another smell the possibility of a maximum height of 2 meters.

Key words: waste water, waste water treatment plant, H<sub>2</sub>S gas, convection diffusion equations, numerical methods, finite difference method.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Ruang Lingkup .....	2
I.3 Tujuan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II. 1 Air Limbah .....	4
II.1.1 Sumber Air Limbah .....	4
II.1.2 Parameter Air Limbah .....	4
II.1.3 Ciri-Ciri Fisik Air Limbah .....	6
II.1.4 Sifat Kimia Air Limbah .....	6
II.1.5 Dampak Buruk Air Limbah .....	7

II.2 Instalasi Pengolahan Air Limbah .....	7
II. 3 Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S) .....	10
II.4 Reaksi Pembentukan Gas H <sub>2</sub> S pada Instalasi Pengolahan Air Limbah .....	11
II.5 Persamaan Difusi-Konveksi .....	12
II.6 Metode Beda Hingga ( <i>finite Difference Method</i> ) .....	15
II.6.1 Deret Taylor .....	16
II.6.2 Metode Beda Hingga pada Persamaan Difusi .....	17
II.7 Matriks .....	19
II.8 Iterasi .....	20

### **BAB III METODOLOGI**

III.1 Alat .....	21
III.2 Prosedur penelitian .....	21
III.2.1 Menghitung Nilai Konsentrasi Awal .....	21
III.2.2 Menghitung laju aliran massa .....	21
III.2.3 Metode Matriks .....	21
III.2.4 Metode Iterasi .....	22
III.3 Bagan Alir penelitian .....	24
III.4 Flowchart Program Matriks .....	25
III.5 Flowchart Program Iterasi .....	26

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

IV.1 Hasil .....	27
------------------	----

IV.2 Pembahasan .....	34
-----------------------	----

## **BAB V PENUTUP**

V.1 Kesimpulan .....	38
----------------------	----

V.2 Saran .....	38
-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA .....	39
----------------------	----

LAMPIRAN-LAMPIRAN

KARTU KONTROL SEMINAR

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Balok .....	13
Gambar II.2 Skema Eksplisit .....	18
Gambar IV.1 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal pertama dengan metode matriks .....	28
Gambar IV.2 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal pertama dengan metode iterasi .....	28
Gambar IV.3 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal Kedua dengan metode matriks .....	29
Gambar IV.4 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal kedua dengan metode iterasi .....	29
Gambar IV.5 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal ketiga dengan metode matriks .....	30
Gambar IV.6 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal Ketiga dengan metode iterasi .....	30
Gambar IV.7 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal keempat dengan metode matriks .....	31
Gambar IV.8 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal keempat dengan metode iterasi .....	31
Gambar IV.9 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal kelima dengan metode matriks .....	32

Gambar IV.10 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal kelima dengan metode iterasi .....	32
Gambar IV.11 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal keenam dengan metode matriks .....	33
Gambar IV.12 Grafik nilai konsentrasi gas H <sub>2</sub> S terhadap ketinggian untuk nilai konsentrasi awal keenam dengan metode iterasi .....	33

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Kandungan Bahan Mineral yang Ada di dalam Air Limbah	
Rumah Tangga .....	7
Tabel II.2 Tingkat konsentrasi gas H <sub>2</sub> S dan efek fisik gas H <sub>2</sub> S .....	11
Tabel IV.1 Tabel nilai konsentrasi awal .....	27

## DAFTAR SIMBOL

$c$	: Konsentrasi
$J$	: Fluks konveksi
$D$	: Difusitas
$v$	: Kecepatan
$\Delta x$	: Jarak sumbu $x$
$X_0$	: Jarak awal sumbu $x$
$\Delta t$	: Jarak Sumbu $t$
$f$	: Fungsi
$f'$	: Fungsi turunan pertama
$f''$	: Fungsi turunan kedua
$C^{-1}$	: Invers
$x^k$	: Iterasi

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Data perhitungan Laju aliran massa
- Lampiran 2 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal pertama
- Lampiran 3 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal kedua
- Lampiran 4 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal ketiga
- Lampiran 5 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal keempat
- Lampiran 6 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal kelima
- Lampiran 7 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara matriks pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal keenam
- Lampiran 8 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal pertama
- Lampiran 9 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal kedua
- Lampiran 10 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal ketiga
- Lampiran 11 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal keempat

- Lampiran 12 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal kelima
- Lampiran 13 : Program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara iterasi pada IPAL  
Losari untuk konsentrasi awal keenam
- Lampiran 14 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal pertama
- Lampiran 15 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal kedua
- Lampiran 16 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal ketiga
- Lampiran 17 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal keempat
- Lampiran 18 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal kelima
- Lampiran 19 :Tabel data program simulasi persebaran gas H<sub>2</sub>S untuk konsentrasi  
awal keenam

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Air limbah adalah sisa buangan dari suatu usaha yang berwujud cair. Air limbah umumnya berasal dari air buangan rumah tangga dan industri. Air limbah dikenal dengan potensi untuk menciptakan gangguan kesehatan dan lingkungan. Jika tidak tertangani dengan baik air limbah akan mengakibatkan pencemaran air, udara dan tanah. Pencemaran-pencemaran tersebut mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan di daerah sekitarnya, sehingga daerah tersebut sudah tidak sehat dan layak untuk dihuni oleh makhluk hidup<sup>[1]</sup>.

Salah satu contoh kasus air limbah yang tidak tertangani dengan baik ialah kasus yang terjadi pada IPAL Bojongsong. Menurut berita yang dilansir dari pikiran-rakyat.com(04/03/2011 16:00:57) dengan judul ” DPRD. Kab. Bandung Pertanyakan Kontribusi IPAL Bojongsong” ini memiliki bangunan yang terbuka sehingga menimbulkan bau yang tidak sedap kepada warga ditiga desa sekitarnya. Serta pihak DPRD juga mempertanyakan apakah IPAL tersebut telah ramah lingkungan<sup>[2]</sup>.

Pembangunan IPAL Losari merupakan salah satu upaya untuk menanggulangi masalah limbah yang ada di kota Makassar. Diharapkan dengan adanya IPAL tersebut mampu menanggulangi masalah pencemaran khususnya akibat air limbah urban di daerah sekitar pantai Losari. Tetapi dalam pembangunan IPAL tersebut

banyak faktor yang harus diperhitungkan terutama masalah dampaknya terhadap lingkungan dan penduduk yang berada di sekitarnya.

Salah satu yang umumnya sering menjadi masalah untuk daerah di sekitar IPAL ialah bau busuk yang dihasilkan oleh air limbah. Bau busuk tersebut biasanya berasal dari Hidrogen Sulfida ( $H_2S$ ) yang dihasilkan dari proses perombakan zat-zat yang terdapat pada air limbah oleh bakteri secara anaerobik.  $H_2S$  yang bersifat racun dan korosif ini diperhitungkan sebagai salah satu faktor untuk menentukan lokasi pembangunan IPAL. Sehingga perlu dibuat suatu model prediksi persebaran gas  $H_2S$  dari instalasi pengolahan air limbah. Dimana dengan adanya model prediksi tersebut, kita dapat menentukan radius persebaran gas  $H_2S$  serta dapat menentukan jarak aman dari pencemaran yang terdapat pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) sebagai bentuk antisipasi terhadap dampak buruk air limbah jika suatu saat air limbah pada instalasi tersebut tidak tertangani dengan baik.

## **I.2 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini melingkupi bagaimana membuat suatu model persebaran gas  $H_2S$  pada instalasi pengolahan air limbah Losari secara numerik, dengan menggunakan persamaan difusi konveksi satu dimensi dan menggunakan metode beda hingga (finite difference method).

### **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu model prediksi persebaran gas H<sub>2</sub>S secara konveksi pada instalasi pengolahan air limbah Losari dan menentukan ketinggian maksimal kemungkinan timbulnya bau yang keluar dari IPAL tersebut.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Air Limbah**

Menurut peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001, air limbah adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berwujud cair.

##### **II.1.1 Sumber Air Limbah**

Adapun sumber air limbah yang akan dikelola oleh IPAL Losari adalah air limbah urban. Air limbah urban mempunyai karakteristik tertentu, diantaranya :

1. Air limbah domestik

Berasal dari 3 sumber utama, yaitu kegiatan dapur (masak dan pencucian alat dapur), kamar mandi dan pencucian pakaian, dan WC..

2. Air limbah dari aktivitas komersil

Yang dimaksud dengan aktivitas komersil di sini adalah kegiatan yang dilakukan di warung makan, café, rumah makan, hotel, dan perkantoran.

3. Air limbah yang berasal dari pencucian oleh air hujan.

Dapat berupa pencucian jalan, yang akan memasukan daun, batang yang berasal dari tanaman, plastik ataupun tanah ke badan air. <sup>[3]</sup>.

##### **II.1.2 Parameter-Parameter dalam Air Limbah**

Dalam pengolahan air limbah terdapat 3 parameter utama, yaitu:

1. Oksigen terlarut(OT) atau *Dissolved Oxygen(DO)*

Adalah banyaknya oksigen terkandung di dalam air dan diukur dalam satuan milligram per liter. Bila terjadi penurunan oksigen terlarut dan berlanjut hingga nol, maka biota air yang membutuhkan oksigen (aerobik) akan mati, dan digantikan dengan tumbuhnya mikroba yang tidak membutuhkan oksigen atau mikroba anerobik. Dari respirasi anaerobik ini terbentuk gas metana ( $\text{CH}_4$ ) disamping terbentuk gas asam sulfida ( $\text{H}_2\text{S}$ ) yang berbau busuk.

Oksigen terlarut ini digunakan sebagai tanda derajat pengotoran limbah yang ada. Semakin besar oksigen terlarut, maka menunjukkan derajat pengotoran yang relatif kecil.

2. Kebutuhan Oksigen Biologis (KOB) atau *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Adalah banyaknya oksigen dalam ppm atau milligram/liter (mm/l) yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri pada suhu  $20^\circ\text{C}$  selama 5 hari. BOD hanya menggambarkan kebutuhan oksigen untuk penguraian bahan organik yang dapat didekomposisikan secara biologis (*biodegradable*).

3. Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) atau *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Mengambarkan jumlah total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didekomposisi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didekomposisi secara biologis (*non biodegradable*). Oksigen yang dikonsumsi setara dengan dikromat yang diperlukan untuk mengoksidasi air sampel<sup>[4]</sup>.

### **II.1.3 Ciri-Ciri Fisik Air Limbah**

Ciri – ciri fisik utama air limbah adalah kandungan padat, warna, bau, dan suhunya.

1. Bahan padat total terdiri dari bahan padat tak terlarut atau bahan padat yang terapung serta senyawa – senyawa yang larut dalam air.
2. Warna adalah ciri kualitatif yang dapat dipakai untuk mengkaji kondisi umum air limbah.
3. Penentuan bau menjadi semakin penting bila masyarakat sangat mempunyai kepentingan langsung atas terjadinya operasi yang baik pada sarana pengolahan air limbah. Senyawa utama yang berbau adalah hidrogen sulfida, senyawa – senyawa lain seperti indol skatol, cadaverin dan mercaptan yang terbentuk pada kondisi anaerobik dan menyebabkan bau yang sangat merangsang dari pada bau hidrogen sulfida.
4. Suhu air limbah biasanya lebih tinggi dari pada air bersih karena adanya tambahan air hangat dari pemakaian perkotaan. Suhu air limbah biasanya bervariasi dari musim ke musim, dan juga tergantung pada letak geografisnya<sup>[5]</sup>.

### **II.1.4 Sifat Kimia Air Limbah**

Kandungan bahan kimia yang ada di dalam air limbah dapat merugikan lingkungan melalui berbagai cara. Bahan organik terlarut dapat menghabiskan oksigen dalam limbah serta akan menimbulkan rasa dan bau yang tidak sedap. Selain itu, akan lebih berbahaya apabila bahan tersebut merupakan bahan yang

beracun. Adapun bahan kimia yang umumnya terdapat di dalam air limbah rumah tangga, tersaji pada tabel berikut<sup>[6]</sup>.

Tabel II.1. Kandungan Bahan Mineral yang Ada di dalam Air Limbah Rumah Tangga

No	Bahan Mineral yang Ada	Keadaan normal(ppm)
1	Zat padat terlarut	100-300
2	Boron (B)	0,1-0,4
3	Sodium (persen)	1-15%
4	Sodium (Na)	40-70
5	Potasium (K)	7-15
6	Magnesium ( $MgCO_3$ )	15-40
7	Kalsium ( $CaCO_3$ )	15-40
8	Nitrogen Total (N)	20-40
9	Fosfat( $PO_4$ )	20-40
10	Sulfat( $SO_4$ )	15-30
11	Klorid(Cl)	20-50
12	Kesadahan Total ( $CaCO_3$ )	100-150

### II.1.5 Dampak Buruk Air limbah

Air limbah yang tidak terkelola dengan baik dapat menimbulkan dapat menimbulkan dampak buruk bagi makhluk hidup dan lingkungannya. Beberapa dampak buruk tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Gangguan kesehatan
- b. Penurunan kualitas lingkungan
- c. Gangguan terhadap keindahan
- d. Gangguan terhadap kerusakan

### II.2 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Losari

IPAL Losari yang menggunakan sistem aerated lagoon terbagi atas beberapa tahap, yaitu:

### 1. Pengolahan Awal (*Pretreatment*)

Sebelum mengalami proses pengolahan perlu kiranya dilakukan pembersihan agar mempercepat dan memperlancar proses pengolahan selanjutnya. Adapun kegiatan tersebut berupa pengambilan benda yang mengendap seperti pasir.

### 2. Pengolahan Tahap Pertama (*Primary Treatment*)

Kalau di dalam pengolahan pendahuuan bertujuan untuk mensortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat, memisahkan lemak, maka pada pengolahan pertama bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan.

### 3. Pengolahan Tahap Kedua (*Secondary Treatment*)

Pengolahan tahap kedua dirancang untuk menghilangkan zat-zat terlarut dari air limbah yang tidak dapat dihilangkan dengan proses fisik biasa. Pada tahap ini diadakan penambahan oksigen ke dalam air limbah. Pada tahap inilah digunakan sistem *aerated lagoon*.

### 4. Pengolahan Tahap Ketiga (*Tertiary Treatment*)

Pengolahan tahap ketiga ini merupakan lanjutan dari pengolahan kedua. Umumnya pengolahan ini untuk menghilangkan nutrisi/ unsure hara khususnya nitrat dan posfat.

## 5. Pengolahan Lumpur (*Sludge Treatment*)

Lumpur yang terbentuk sebagai hasil keempat tahap pengolahan sebelumnya kemudian diolah kembali.

Pengolahan air limbah pada IPAL (*Waste Water Treatment Plant/ WWTP*) dengan sistem *aerated lagoon* adalah suatu sistem pengolahan limbah dengan menggunakan kolam penampungan yang dilengkapi dengan alat pengaduk yang berfungsi untuk memproduksi oksigen. Tujuannya adalah agar supaya proses pengolahan limbah secara aerobik tetap berlangsung, dan untuk mencegah terjadinya pengendapan biomassa, sehingga biomassa akan berada pada keadaan tersuspensi.

*Aerated lagoon* dengan energi  $20 \text{ W/m}^3$  atau kebutuhan oksigen  $1,8 - 2,7 \text{ kg/kWH}$ , dan dengan detensi waktu 4 hingga 5 hari dapat menurunkan nilai BOD hingga  $70 - 90 \%$ . Proses degradasi senyawa organik ini dapat dipercepat dengan kenaikan suhu udara, sebab mikroorganisme akan bekerja dengan baik pada suhu  $4^\circ\text{C}$  hingga  $40^\circ\text{C}$ . Akibatnya, pada daerah tropis dengan suhu udara berkisar antara  $24^\circ\text{C}$  hingga  $33^\circ\text{C}$  untuk kota Makassar, pengolahan limbah ini sangat baik. Kelebihan lain dari *aerated lagoon* adalah adanya jumlah gas  $\text{H}_2\text{S}$  yang menimbulkan bau yang sangat menyengat akan berkurang, karena gas  $\text{H}_2\text{S}$  ini diproduksi pada proses anaerobik, sedangkan pada *aerated lagoon*, proses anaerobik dicegah dengan memasukan oksigen. Waktu retensi yang cukup lama yaitu sekitar 4 – 5 hari dapat digunakan oleh bakteri untuk memecah gas  $\text{H}_2\text{S}$  menjadi gas sulfur, yang selanjutnya dilepas ke udara.

## II. 3 Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S)

H<sub>2</sub>S merupakan rumus kimia dari gas hidrogen sulfida yang terbentuk dari 2 atom hidrogen dan 1 atom sulfur. Satuan ukur gas H<sub>2</sub>S adalah PPM (part per million). Gas H<sub>2</sub>S juga disebut gas telur busuk, gas asam, asam belerang dan uap bau.

Gas H<sub>2</sub>S mempunyai sifat dan karakteristik antara lain :

- a. Tidak berwarna tetapi mempunyai bau khas seperti telur busuk pada konsentrasi rendah sehingga sering disebut sebagai gas telur busuk.
- b. Merupakan jenis gas beracun.
- c. Dapat terbakar dan meledak pada konsentrasi LEL (Lower Explosive Limit) 4.3% (43000 PPM) sampai UEL (Upper Explosive Limite) 46% (460000 PPM) dengan nyala api berwarna biru pada temperature 500°F (260°C).
- d. Berat jenis gas H<sub>2</sub>S lebih berat dari udara sehingga gas H<sub>2</sub>S akan cenderung terkumpul di tempat/daerah yang rendah. Berat jenis gas H<sub>2</sub>S sekitar 20 % lebih berat dari udara dengan perbandingan berat jenis H<sub>2</sub>S : 1.2 atm dan berat jenis udara : 1 atm.
- e. H<sub>2</sub>S dapat larut (bercampur) dengan air (daya larut dalam air 4,37 ml/100 ml air pada 0 °C; 18,6 ml/100 ml air pada 40°C).
- f. H<sub>2</sub>S bersifat korosif sehingga dapat mengakibatkan karat pada peralatan logam<sup>[7]</sup>.
- g. Memiliki koefisien difusitas massa 0,65 m<sup>2</sup>/s<sup>[8]</sup>.

Efek fisik gas H<sub>2</sub>S terhadap manusia tergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah :

- a. Lamanya seseorang berada di lingkungan paparan H<sub>2</sub>S.
- b. Frekuensi seseorang terpapar.
- c. Besarnya konsentrasi H<sub>2</sub>S.
- d. Daya tahan seseorang terhadap paparan H<sub>2</sub>S.

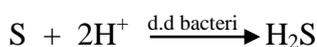
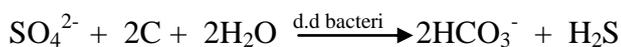
Berikut ini akan disajikan beberapa efek fisik gas H<sub>2</sub>S terhadap manusia menurut tingkat konsentrasinya<sup>[9]</sup>:

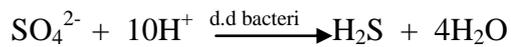
Tabel II.2 Tingkat konsentrasi gas H<sub>2</sub>S dan efek fisik gas H<sub>2</sub>S

Tingkat H <sub>2</sub> S (ppm)	Efek pada manusia
0,13	Bau minimal yang masih terasa.
4,6	Mudah dideteksi, bau yang sedang.
10	Permulaan iritasi mata dan mulai berair.
27	Bau yang tidak enak dan tidak dapat di tolerir lagi
100	Batuk-batuk, iritasi mata dan indra penciuman sudah tidak berfungsi lagi.
200-300	Pembengkakan mata dan rasa kekeringan pada kerongkongan.
500-700	Kehilangan kesadaran dan bisa mematiikan dalam waktu 30 menit- 1jam.
Lebih dari 700	Kehilangan kesadaran dan berlanjut cepat kematian.

#### II.4 Reaksi Pembentukan Gas H<sub>2</sub>S pada Instalasi Pengolahan Air Limbah.

Sulfat terjadi secara alami pada banyak penyediaan air dan juga pada air limbah. Sulfat diperlukan pada pembentukan protein tiruan dan akan dibebaskan pada pemecahannya. Sulfat dapat diubah menjadi sulfit dan hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S) oleh bakteri pada situasi tanpa udara (anaerobik) seperti terlihat pada persamaan-persamaan berikut ini.



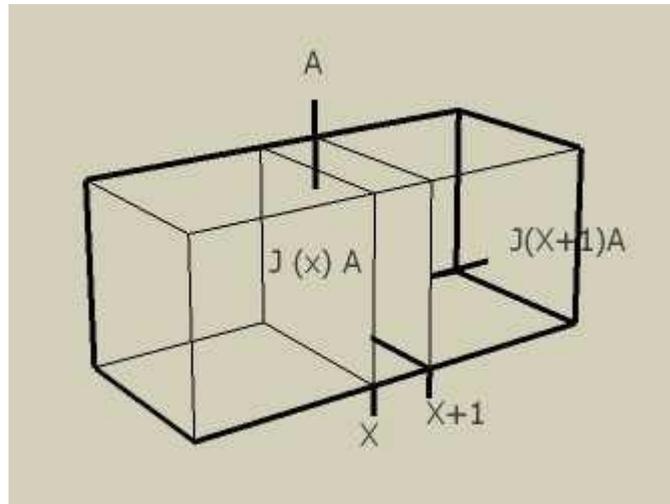


Kemudian  $\text{H}_2\text{S}$  dapat dioksidasi secara biologis menjadi asam sulfat dan bahan inilah penyebab timbulnya karat pada system perpipaan. Sulfat diubah menjadi sulfid dalam tangki pencernaan lumpur dan bias meningkatkan proses biologis bila kadar sulfid mencapai 200mg/l, akan tetapi kadar ini sangat jarang ditemui. Gas  $\text{H}_2\text{S}$  yang tersusun dan tercampur dengan gas air limbah ( $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ) adalah penyebab terjadinya karat pada pipa dan apabila dibakar pada mesin akan menyebabkan kerusakan pada peralatan terutama apabila dilewatkan pada kondisi dibawah titik bekunya

## **II.5 Persamaan Difusi-Konveksi**

Difusi adalah gerakan atom atau molekul dalam fluida, larutan atau padatan dari daerah konsentrasi yang lebih tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Persamaan difusi adalah persamaan diferensial parsial yang menggambarkan difusi partikel monoenergetik sesuai dengan teori difusi, Salah satu proses difusi yang tergantung terhadap waktu yang berhubungan dengan kimia adalah distribusi konsentrasi dalam pelarut yang ditambah zat terlarut.

Hukum pertama Fick tentang difusi yang dikemukakan oleh Ilmuwan Jerman, Adolph Fick menyatakan bahwa fluks materi (jumlah partikel per satuan luas per satuan waktu) sebanding dengan gradien rapatan pada suatu titik . Fluks partikel menuruti gradien konsentrasi. Dalam hal perumusan masalah persamaan difusi pada kasus berikut, maka dapat diperhatikan Gambar II.1 di bawah ini



Gambar II.1

Jika diperhatikan lempengan tipis dengan luas penampang lintang  $A$  dan tebal dari  $x$  sampai  $x + l$  (Gambar 2.1). Kita misalkan konsentrasi pada  $x$  pada waktu  $t$  adalah  $c$ . Jumlah mol partikel yang memasuki lempengan persatuan waktu adalah  $JA$ , sehingga kenaikan konsentrasi di dalam lempengan (yang volumenya  $Al$ ) yang disebabkan oleh fluks dari kiri adalah:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{JA}{Al} = \frac{J}{l} \quad (\text{II. 1})$$

Terdapat pula aliran keluar melalui jendela kanan. Fluks melalui jendela itu adalah  $J'$ , dan perubahan konsentrasi yang dihasilkan:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{-J'A}{Al} = \frac{-J'}{l} \quad (\text{II. 2})$$

Sehingga laju perubahan konsentrasi dinyatakan dalam bentuk:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{J - J'}{l} \quad (\text{II. 3})$$

Setiap fluks sebanding dengan gradien konsentrasi pada jendela. Dengan menggunakan hukum pertama Fick, dapat ditulis:

$$J - J' = -D \frac{\partial c}{\partial x} + D \frac{\partial c}{\partial x} \quad (\text{II. 4})$$

$$= D l \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (\text{II. 5})$$

Jika digantikan hubungan ini ke dalam ungkapan untuk laju perubahan konsentrasi dalam lempengan, maka diperoleh bentuk umum persamaan difusi sebagai berikut.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (\text{II. 6})$$

Persamaan (biasanya disebut hukum kedua Fick tentang difusi; pada tahap ini kita sudah mengetahui bahwa  $c$  merupakan fungsi dari  $x$  dan  $t$  dan turunannya dituliskan sebagai) turunan parsial.

Persamaan difusi menunjukkan bahwa laju perubahan konsentrasi sebanding dengan turunan kedua dari konsentrasi terhadap jarak. Jika konsentrasi berubah dengan tajam dari titik ke titik (jika distribusinya tidak merata) maka konsentrasi berubah dengan cepat terhadap waktu. Jika lengkungannya nol, maka konsentrasinya lambat laun menjadi konstan. Jika konsentrasi berkurang secara linier dengan jarak, maka konsentrasi pada setiap titik adalah konstan karena aliran partikel ke dalam tepat diimbangi oleh aliran keluar.

Persamaan difusi dapat dianggap sebagai perumusan matematis dari dugaan berdasarkan intuisi, bahwa terdapat kecenderungan alamiah untuk menghilangkan ketakmerataan distribusi. Lebih singkatnya: alam tidak menyukai ketakmerataan.

Dalam hal transport partikel yang berasal dari gerakan aliran fluida, maka difusi yang terjadi disebut sebagai difusi konveksi. Jika sekarang ini kita mengabaikan difusi, maka fluks partikel melalui luas  $A$  dalam selang waktu  $Dt$  jika fluida mengalir dengan velositas  $v$ , dapat dihitung dengan cara yang sudah kita gunakan beberapa kali sebelumnya (dengan menghitung partikel dalam jarak  $v Dt$ ), yaitu:

$$J = \frac{cAv\Delta t}{A\Delta t} = cv \quad (\text{II. 7})$$

$J$  ini disebut fluks konveksi. Dengan argumen yang sama seperti sebelumnya, maka laju perubahan konsentrasi dalam lempengan dengan panjang  $l$  dan luas  $A$ , adalah:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{J - J'}{l} = \left\{ c - \left[ c + \left( \frac{\partial c}{\partial x} \right) l \right] \right\} \frac{v}{l} \quad (\text{II. 8})$$

(Diasumsikan bahwa velositas tidak bergantung pada posisi).

Jika difusi dan konveksi sama perannya, maka perubahan konsentrasi total dalam daerah itu merupakan penjumlahan kedua efek tersebut, sehingga persamaan difusi tergeneralisasi:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (\text{II. 9})$$

Persamaan difusi merupakan persamaan turunan orde kedua terhadap ruang dan persamaan turunan orde pertama terhadap waktu. Oleh karena itu kita harus menentukan dua kondisi batas untuk ketergantungan pada ruang ( $x$ ), dan satu kondisi awal untuk ketergantungan pada waktu ( $t$ )<sup>[10]</sup>.

## II.6 Metode Beda Hingga (finite Difference Method)

Metode beda hingga pertama kali ditemukan oleh A. Thom tahun 1920, dalam makalah yang berjudul *The Method of Squere* untuk menyelesaikan persamaan hidrodinamika non linier. Metode beda hingga adalah salah satu teknik untuk mendapatkan solusi numerik dari persamaan diferensial. Konsep dasar dari metode elemen hingga adalah prinsip diskretisasi, yaitu suatu proses pembagian kontinu menjadi elemen-elemen hingga<sup>[11]</sup>.

### II.6.1 Deret Taylor

Deret Taylor merupakan pendekatan yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan beda hingga.

$$f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \Delta x f'(x_0) + \frac{1}{2!} (\Delta x)^2 f''(x_0) + \frac{1}{3!} (\Delta x)^3 f'''(x_0) + O(\Delta x)^4 \quad (\text{II.10a})$$

Dan

$$f(x_0 - \Delta x) = f(x_0) - \Delta x f'(x_0) - \frac{1}{2!} (\Delta x)^2 f''(x_0) + \frac{1}{3!} (\Delta x)^3 f'''(x_0) - O(\Delta x)^4 \quad (\text{II.10b})$$

Dimana  $O(\Delta x)^4$  kesalahan pemotongan pada deret.

Mengurangkan persamaan (II.10a) dan (II.10b) didapatkan menjadi:

$$f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x) = 2\Delta x f'(x_0) + O(\Delta x)^3 \quad (\text{II.11})$$

$$f'(x_0) \cong \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x)^2 \quad (\text{II.12a})$$

Dengan  $O(\Delta x)^2$  adalah kesalahan pemotongan, selisih pusat dinyatakan pada persamaan (II.12a).

$$f'(x_0) \cong \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (\text{II. 12b})$$

$$f'(x_0) \cong \frac{f(x_0) - f(x_0 - \Delta x)}{\Delta x} + O(\Delta x) \quad (\text{II. 12c})$$

Selisih depan dinyatakan pada persamaan (II.12b) dan selisih belakang dinyatakan pada persamaan (II.12c). dengan  $\Delta x$  merupakan kesalahan pemotongan pada kedua persamaan tersebut.

Menjumlahkan persamaan (II.12b) dan persamaan (II.12c) menjadi:

$$f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x) = 2f(x_0) + (\Delta x)^2 f''(x_0) + O(\Delta x)^4 \quad (\text{II. 13})$$

$$f''(x_0) \cong \frac{f(x_0 + \Delta x) - 2f(x_0) + f(x_0 - \Delta x)}{(\Delta x)^2} + O(\Delta x)^2 \quad (\text{II. 14})$$

## II.6.2 Metode Beda Hingga pada Persamaan Difusi

Pandang persamaan difusi berikut dengan kondisi awal dan batasnya

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial t}$$

$$c(x, 0) = f(x) \text{ untuk } 0 \leq x \leq x_n \quad (\text{II. 15a})$$

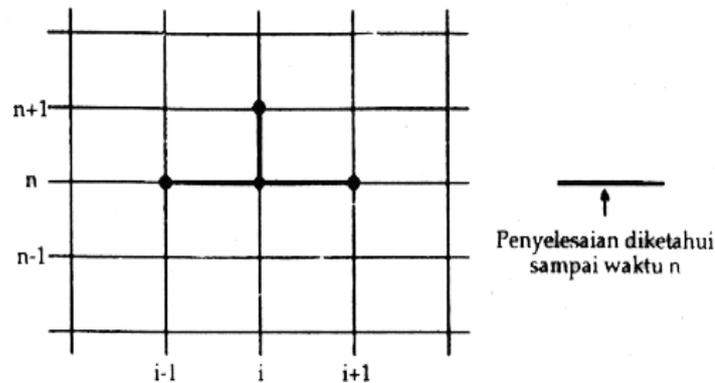
$$c(0, t) = f(0) \quad (\text{II. 15b})$$

$$c(a, t) = f(a) \quad (\text{II. 15c})$$

$c$  adalah konsentrasi,  $D$  merupakan koefisien difusi,  $v$  adalah kecepatan aliran difusi,  $x$  adalah lokasi/ ruang, sedangkan  $t$  adalah waktu. Kondisi batas (II.15a) disebut kondisi awal. Sedangkan kondisi (II.15b) dan (II.15c) disebut dengan

kondisi batas. Tujuan dari pemecahan persamaan difusi konveksi ini adalah mendapatkan nilai  $c(x,t)$  di antara  $n$   $0 < x < x$  dan  $t > 0$  . Pada persamaan nilai  $c(x,T)$  akan dipengaruhi oleh nilai  $c(x,t)$  ,  $t \leq T$ .

Metode beda hingga skema eksplisit banyak digunakan dalam penyelesaian persamaan parsial. Skema ini sangat sederhana dan mudah untuk memahaminya. Skema ini menurunkan persamaan diferensial parsial menjadi persamaan beda hingga. Pada skema eksplisit, variabel pada waktu  $n + 1$  dihitung berdasarkan variabel pada waktu  $n$  yang sudah diketahui (gambar II.2) Dengan menggunakan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.2 fungsi variabel  $c(x,t)$  dan turunannya dalam ruang dan waktu didekati oleh bentuk berikut<sup>[12]</sup>:



Gambar II.2 Skema Eksplisit

Solusi numerik persamaan difusi konveksi dengan menggunakan metode beda hingga skema eksplisit yang menggunakan dasar dari persamaan deret Taylor, sehingga menghasilkan turunan pertama terhadap  $t$  adalah:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{c_i^{n+1} - c_i^n}{\Delta t} \tag{II. 16a}$$

Turunan kedua terhadap  $x$  adalah:

$$\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{c_{i+1}^n - 2c_i^n + c_{i-1}^n}{\Delta x^2} \quad (\text{II. 16b})$$

Turunan pertama terhadap x adalah:

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{c_{i+1}^n - c_i^n}{\Delta x} \quad (\text{II. 16c})$$

Dari diferensial numerik (II.16a), (II.16b) dan (II.16c) kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan difusi konveksi (II.9) sehingga diperoleh persamaan difusi konveksi dalam bentuk terdiskritisasi:

$$\frac{c_i^{n+1} - c_i^n}{\Delta t} = D \left( \frac{c_{i+1}^n - 2c_i^n + c_{i-1}^n}{\Delta x^2} \right) - v \left( \frac{c_{i+1}^n - c_i^n}{\Delta x} \right) \quad (\text{II. 17})$$

Setelah didapatkan bentuk persamaan terdiskritisasi dalam metode beda hingga, ada dua cara yang digunakan untuk penyelesaiannya. Yaitu: dengan penyelesaian secara matriks dan secara iterasi.

## II.7 Matriks

Matriks adalah salah satu solusi yang digunakan untuk menyelesaikan sederet bilangan berbentuk persegi panjang yang diapit sepasang kurung siku, yang memenuhi aturan-aturan tertentu yang diberikan pada suatu operasi, dimana elemennya adalah bilangan atau suatu fungsi yang diperoleh dari baris dikalikan dengan kolom (m,n).

Sebuah matriks dengan m baris dan n kolom disebut matriks m kali n, ditulis  $m \times n$ . Matriks sama adalah dua matriks sama jika dan hanya jika yang satu merupakan duplikat yang lainnya ( $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n$ ). dan matriks nol adalah matriks yang semua elemennya nol.<sup>[13]</sup>

Matriks invers di sebut juga matriks kebalikan, yang dinyatakan dengan  $C^{-1}$ .

Misalnya jika dua matriks bujur sangkar C dan B memenuhi  $CB=BC=I$ , maka C

dan B dikatakan Invers satu sama lain. Perkalian matriks dengan inversnya menghasilkan matriks identitas. Perkalian suatu matriks hanya dapat didefinisikan jika banyaknya kolom matriks A sama dengan banyaknya baris matriks B.

Pada penelitian ini akan digunakan matriks C yang berukuran titik diskritisasi dikali titik diskritisasi, matriks B dan CF yang berukuran titik diskritisasi dikali satu. Yang ketiganya dihubungkan untuk menghitung konsentrasi di semua titik dengan rumus:

$$CF=C^{-1}B \quad (II.18)$$

## II.8 Iterasi

Metode iterasi adalah metode dimana penyelesaian persamaan diprediksi dengan suatu nilai awal yang kemudian diuji melalui substitusi kedalam persamaan.

Adapun persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$x_n^{(k+1)} = \frac{C_n - a_{n1}x_1^{(k)} - a_{n2}x_2^{(k)} - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^{(k)}}{a_{nn}} \quad (II.19)$$

Dengan  $k = 0, 1, 2, \dots$  <sup>[14]</sup>