

## BAB II

### KARAKTERISTIK PROSES SELF PURIFICATION PADA DANAU

#### 2.1 Danau

Danau adalah salah satu bentuk ekosistem yang menempati daerah yang relatif kecil pada permukaan bumi dibandingkan dengan habitat laut dan daratan. Bagi manusia kepentingannya jauh lebih berarti dibandingkan dengan luas daerahnya. Keberadaan ekosistem danau memberikan fungsi yang menguntungkan bagi kehidupan manusia (rumah tangga, industri, dan pertanian). Beberapa fungsi danau secara ekosistem adalah sebagai berikut (Connell, D.W & G.J Miller. 1995. Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran (terjemahan Yanti Koestoer). Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta)

- 1) sebagai sumber plasma nutfah yang berpotensi sebagai penyumbang bahan genetik;
- 2) sebagai tempat berlangsungnya siklus hidup jenis flora/fauna yang penting,
- 3) sebagai sumber air yang dapat digunakan langsung oleh masyarakat sekitarnya (rumah tangga, industri dan pertanian);
- 4) sebagai tempat penyimpanan kelebihan air yang berasal dari air hujan, aliran permukaan, sungai-sungai atau dari sumber-sumber air bawah tanah;
- 5) memelihara iklim mikro, di mana keberadaan ekosistem danau dapat mempengaruhi kelembaman dan tingkat curah hujan setempat;
- 6) sebagai sarana transportasi untuk memindahkan hasil-hasil pertanian dari tempat satu ke tempat lainnya;
- 7) sebagai penghasil energi melalui PLTA;
- 8) sebagai sarana rekreasi dan objek pariwisata.

Dalam Undang-undang Nomor 7 Tahun 2004 Pasal 1 dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan Sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah. Danau sebagai salah satu sumber air, pengelolannya tidak dapat berdiri sendiri, harus diintegrasikan ke dalam pengelolaan DAS sebagai kesatuan wilayah, begitu pula pemanfaatannya. Pemanfaatan danau sebagai sumber air menurut Pasal 8 ayat (2), memiliki prioritas sebagai berikut:

- I. a. air minum  
b. rumah tangga

- c. pertahanan dan keamanan nasional
  - d. peribadatan
  - e. usaha perkotaan, misalnya mencegah kebakaran, penggelontoran, menyiram tanaman, dan lain sebagainya
- 2.
- a. pertanian, pertanian rakyat, dan usaha pertanian lainnya
  - b. peternakan
  - c. perkebunan
  - d. perikanan
- 3.
- a. ketenagaan
  - b. industri
  - c. pertambangan
  - d. lalu lintas air
  - e. rekreasi

Sebagai sumber air paling praktis, danau sudah menyediakannya melalui terkumpulnya air secara alami melalui aliran permukaan yang masuk ke danau, aliran sungai-sungai yang menuju ke danau dan melalui aliran di bawah tanah yang secara alami mengisi cekungan di muka bumi ini. Bentuk fisik danapun memberikan daya tarik sebagai tempat membuang yang praktis.

Jika semua dibiarkan demikian, maka akan mengakibatkan danau tak akan bertahan lama berada di muka bumi. Saat ini terlihat ekosistem danau tidak dikelola sebagaimana mestinya. Sebaliknya, untuk memenuhi kepentingan manusia, lingkungan sekitar danau diubah untuk dicocokkan dengan cara hidup dan cara bermukim manusia, atau bahkan kawasan ini sering dirombak untuk menampung berbagai bentuk kegiatan manusia seperti permukiman, prasarana jalan, saluran limbah rumah tangga, tanah pertanian, rekreasi dan sebagainya (Connell & Miller, 1995).

Sementara, kondisi ekosistem danau tidak lepas dari pengaruh kondisi sungai-sungai yang mengalir masuk (inlet) bagi danau. Akibat kegiatan-kegiatan pembangunan pada sektor perumahan, perikanan, dan industri di Sub-DAS Sugutamu. Hal ini mengakibatkan perubahan penggunaan lahan yang selain memberikan manfaat juga menimbulkan dampak negatif terhadap fungsi ekologi, ekonomi, dan estetika ekosistem

danau. Sehingga seringkali terjadi pemanfaatan danau dan konservasi danau yang tidak berimbang, dimana pemanfaatan danau lebih mendominasi sumberdaya alam danau dan kawasan daerah aliran sungai (*watershed*). Hal ini mengakibatkan danau berada pada kondisi suksesi, yaitu berubah dari ekosistem perairan ke bentuk ekosistem daratan. Pendangkalan akibat erosi, eutrofikasi merupakan penyebab suksesi suatu perairan danau. Hilangnya ekosistem danau mengakibatkan kekurangan cadangan air tanah pada suatu kawasan/wilayah yang bakal mengancam ketersediaan air bersih bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Akibatnya, keberlanjutan suatu lingkungan hidup yang didalamnya terdapat manusia dan alam terancam tak dapat berlanjut. Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian menyeluruh mengenai pola dan struktur pemanfaatan ruang di kawasan danau ini, yang kemudian dimanifestasikan menjadi peraturan daerah ke dalam bentuk Rencana Tata Ruang Kawasan Danau.

## 2.2 LID (*Low Impact Development*)

*LID (Low Impact Development)* adalah suatu konsep dengan pendekatan yang berbeda untuk pengelolaan air dimana konsep LID memodifikasi praktek pengembangan wilayah sedemikian rupa sehingga fungsi hidrologi wilayah itu secara alamiah tetap terpelihara. (*Conservation design forum*).

*Low Impact Development (LID)* adalah pengembangan kawasan yang mempertimbangkan unsur lingkungan dalam setiap langkah pada perencanaan, desain dan konstruksi. Tujuan dari LID adalah untuk mengeliminasi dan meminimalkan pengaruh dari urbanisasi terhadap sistem alami air. Intinya, keadaan sistem alami air sebelum dan sesudah pembangunan tidak berubah terlalu banyak.

LID hadir sebagai pendekatan yang efektif dan menarik untuk mengontrol kualitas air hujan dan melindungi perkembangan DAS-DAS bagi masyarakat kota di seluruh wilayah. LID adalah suatu konsep menyeluruh dengan pendekatan yang berlandaskan teknologi (*technology-based approach*) untuk mengelola air hujan di suatu daerah perkotaan dalam skala mikro dan hemat biaya. Konsep kontrol sumber (*source control*) yang dimiliki LID cukup berbeda dengan metode pengelolaan hujan konvensional. Di samping itu, vegetasi lahan yang dikombinasikan dengan media filter, tidak hanya dapat mengontrol kuantitas air yang berlebih, tetapi juga kualitas air karena dapat mengurangi kandungan bakteri, logam, dan nutrisi dari limpasan air permukaan (*surface runoff*).

Teknologi *LID* sudah banyak diterapkan di berbagai wilayah. Beberapa teknologi *LID* yang umum diterapkan diantaranya adalah : (*Conservation design forum*)

- a. *bioretention* dan *rain garden* sebagai lahan atau taman penampung hujan;
- b. *rain barrel* dan *cisterns* sebagai tabung penampung hujan;
- c. *permeable pavement* yaitu perkerasan jalan permeabel;
- d. *green roofs* dengan penghijauan di atap ;
- e. *retention ponds* yaitu danau-danau retensi air ;
- f. *filter strip* yaitu sebidang jalan yang dapat memfilter air;
- g. *vegetated swale* yaitu saluran pelimpas yang bervegetasi; dan lain-lain.

*LID* bertujuan utama untuk merekonstruksi fungsi hidrologi setiap unit pemanfaatan lahan kawasan perkotaan pada suatu daerah tangkapan air berskala relatif kecil (Sub-DAS, Subsub-DAS, dst.) seperti keadaan pada saat pra-pembangunan (Dwita S Kertadikara Marsudiantoro). Selain itu tujuan lain dari *LID* adalah sebagai pengontrol limpasan memiliki beberapa tujuan, yaitu mengurangi gangguan/dampak dari limpasan hujan, menjaga dan menciptakan kembali keutamaan dari kondisi alam yang masih natural, mengurangi lahan kedap air secara efektif, memperbaiki keseimbangan hidrologi akibat terputusnya siklus hidrologi, meningkatkan fungsi tampungan sementara dan memudahkan terjadinya infiltrasi dan detensi sebagai konservasi air tanah.

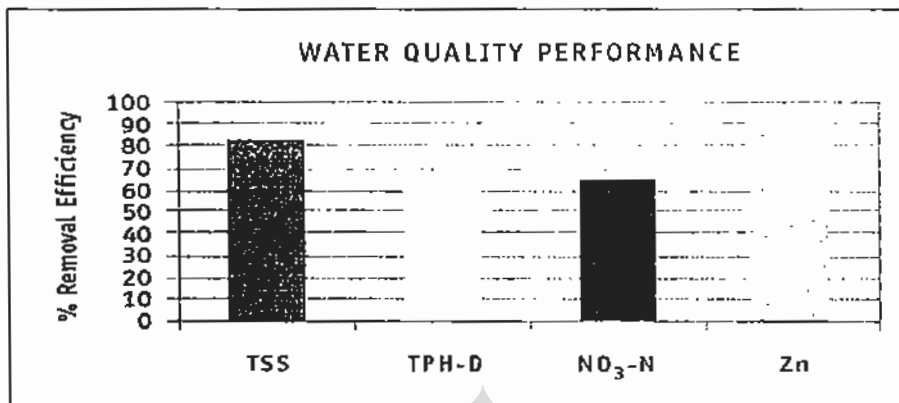
#### 2.1.1. Retention Pond

Pada konsep ini terdapat fungsi dari *retention pond* yang merupakan *primarily designed* pada pengelolaan air. Menurut *Conservation design forum retention ponds* (situ) dirancang terutama untuk mengelola limpasan hujan dalam rangka mencegah banjir, selain itu dapat dimanfaatkan sebagai :

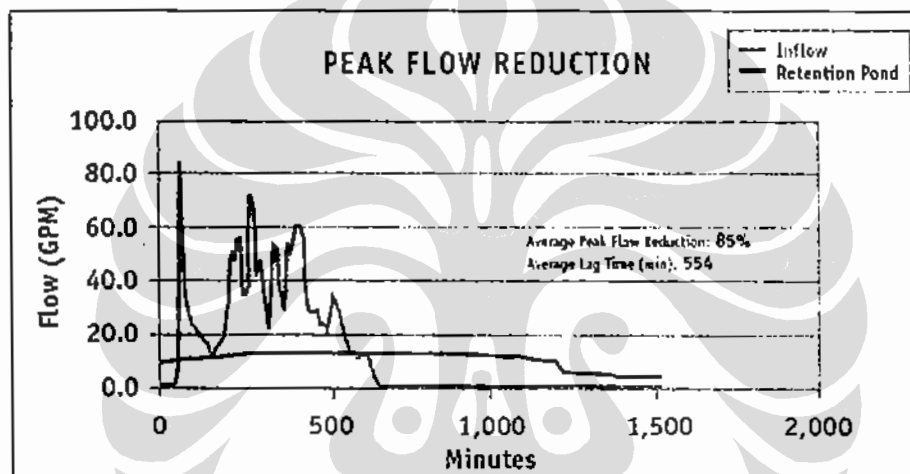
- meningkatkan efisiensi tangkapan sedimen
- mengurangi beban nutrien yang ada pada air
- menambah estetika
- menyediakan habitat dari flora dan fauna
- sarana rekreasi
- sarana untuk meningkatkan land value

Sesuai dengan fungsinya *retention pond*/situ dapat digunakan sebagai sarana untuk memperbaiki kualitas air jika situ memiliki volume cukup besar dan memiliki waktu tinggal (*retention time*) yang cukup lama dimana memungkinkan untuk terjadinya pengendapan sedimen atau penguraian unsur-unsur tertentu.

Gambar 2.1 dibawah ini menunjukkan efisiensi pengurangan parameter polutan dan penurunan puncak banjir yang terjadi jika retention pond berfungsi dengan optimal.( UNH Storm Water Center )



Gambar2.1. Efisiensi Pengurangan Nutrien Pada Stabilization Pond



Gambar 2.2. Penurunan Puncak Banjir Akibat Adanya Retention Pond

### 2.2.2. Stabilization Pond

*Stabilization pond* adalah salah satu alternatif untuk memperbaiki kualitas air dengan memanfaatkan proses alami yang terjadi pada ekosistem danau/situ dengan bantuan bakteri dan alga (*Waste Stabilization ponds and constructed wetlands*). *stabilization pond* cocok diterapkan pada daerah tropis dimana pengolahan air limbah secara konvensional tidak dapat bekerja secara maksimal karena energi yang kurang memadai. keuntungan dari sistem ini adalah berkurangnya bakteri yang bersifat patogen. *stabilization* dibedakan atas :

- aerobic pond

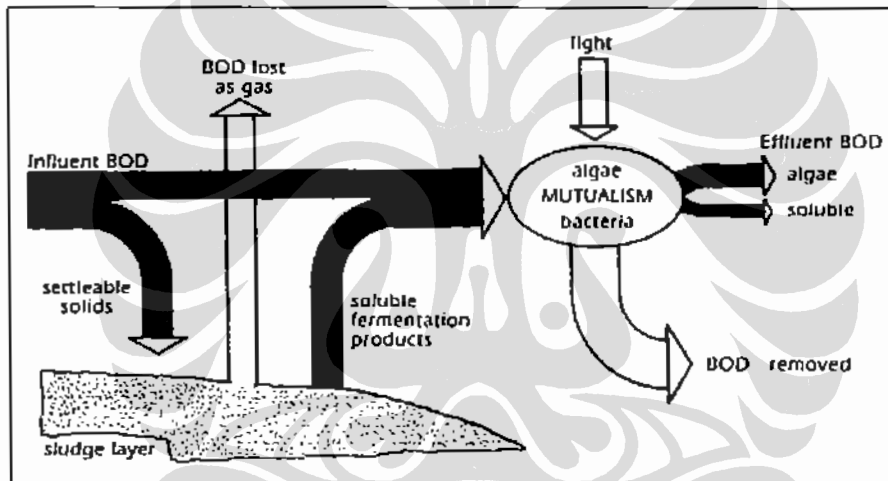
Aerobic pond dapat digunakan pada danau/ situ dengan kedalaman 2-5 m dengan konsentrasi BOD yang tinggi. Biasanya stabilization pond tidak mengandung oksigen dan alga yang cukup. pada anaerobic pond, pengurangan BOD ditunjukkan dengan adanya sedimentasi dari zat padat sehingga menyebabkan adanya endapan lumpur.

Proses anaerobic dapat berfungsi dengan jika :

- a. Memiliki suhu diatas 15°C,
  - b. pH < 6,2 dan
  - c. memiliki waktu tinggal antara 1- 1,5 hari
- Facultative pond

Facultative pond memiliki 2 tipe yaitu Primary facultative pond dan secondary facultative pond dimana proses oksidasi dari zat organik dengan bakteri aerob biasanya dominan pada primary facultative ponds atau secondary facultative ponds.

Proses yang terjadi pada primary facultative ponds atau secondary facultative ponds dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini :

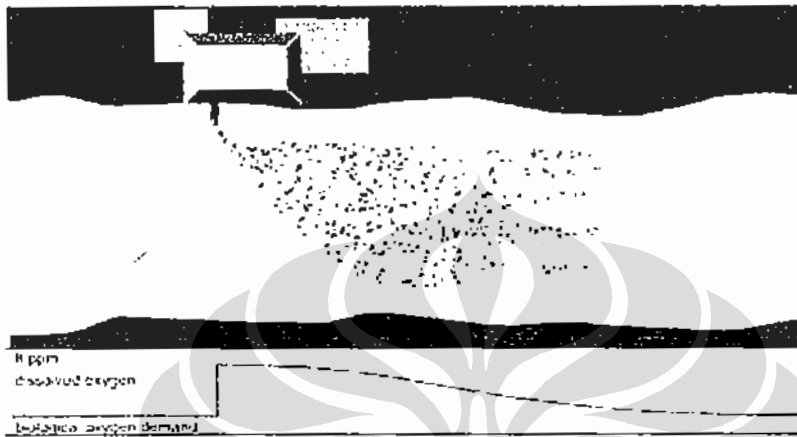


Gambar. 2.3. Proses Pengurangan BOD pada Primary Facultative Ponds atau Secondary Facultative Ponds

Primary facultative ponds atau secondary facultative ponds dapat berfungsi dengan baik pada danau/situ yang memiliki waktu tinggal 2-3 hari.

### 2.2.3. Proses *Self Purification*

Self purification adalah kemampuan badan air untuk membersihkan dirinya sendiri dari pencemar. Penghilangan bahan organik, nutrisi tanaman, atau pencemar lainnya dari suatu danau atau sungai oleh aktivitas biologis dari komunitas yang hidup didalamnya. Bahan biodegradabel yang masuk ke badan air, sedikit demi sedikit digunakan oleh mikroorganisme dalam air sebagai nutrisi yang pada akhirnya dapat menurunkan tingkat pencemar (Kharistya.blogspot.99).



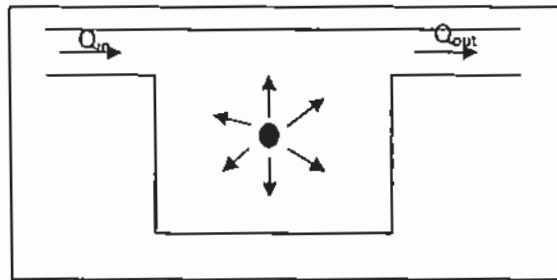
Gambar 2.5. Pencemaran sungai oleh bahan organik

Pada sungai yang tidak tercemar, oksigen terlarut memiliki kadar sekitar 8 ppm dan BOD dalam keadaan yang rendah. Bahan organik membutuhkan oksigen untuk terdekomposisi. Hal ini menjadikan BOD meningkat dan mempengaruhi Dissolved Oksigen di hilir sungai sehingga kualitas air semakin menurun karena nilai BOD dan DO berbanding terbalik yaitu jika nilai BOD naik maka nilai DO turun sehingga kualitas air akan turun. Pencemar organik ini menjadi makanan bagi sebagian bakteri aerob. Seiring dengan mengalirnya air ke hilir, jumlah bakteri ini meningkat. Akibatnya ketersediaan oksigen (DO) pada air sungai menurun. Pada titik tertentu pencemar organik terdekomposisi dan terjadi recovery oksigen atau DO kembali meningkat sebagai sumbangan dari atmosfer (aerasi) dan tanaman air.

### 2.2.3. Dispersi

Dispersi adalah sebuah hubungan proses yang juga menyebabkan polutan menyebar. Dalam pergerakan air secara acak menurut waktu, dispersi adalah hasil dari kecepatan yang berbeda dalam ruang tertentu. Sebagai contoh, sesuatu yang dicelupkan ke dalam air yang mengalir melalui sebuah pipa. Dalam kasus ini, molekul akibat

pencelupan yang muncul di dinding pipa akan bergerak lebih pelan daripada molekul akibat pencelupan yang muncul di tengah pipa. Efek dari perpindahan ini adalah kecepatan rata-rata yang menyebar atau bercampur sepanjang pipa.



Gambar 2.6. Proses penyebaran partikel secara dispersi

Di dalam lingkungan, pergolakan difusi dan dispersi dapat terjadi sendiri-sendiri atau bersamaan karena pencampuran zat-zat. Sebagai contoh, di dalam sungai dan muara dispersi biasanya yang paling sering terjadi karena adanya aliran besar yang disebabkan aliran gravitasi.

### 2.3 Persamaan Kekekalan Massa

Suatu sistem pencampuran yang menyeluruh (*completely mixed system*) dapat diwujudkan dalam model yang sederhana sehingga dapat di terapkan untuk badan air alami. Hipotesa untuk proses tersebut dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + kc + A_s v c = W$$

Akumulasi = beban – outflow – reaksi peluruhan secara kimia – pengendapan (settling)

Dimana :

$W$  = beban yang masuk dalam danau

$v$  = *settling* (pengendapan)

$k$  = koefisien peluruhan

persamaan diatas digunakan jika terdapat beban yang masuk dalam danau dan parameter yang ditinjau mengalami dispersi. Jika tidak terdapat beban masuk pada danau, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) + kc + A_s v c = 0$$

Jika nilai dispersi yang ada pada danau kecil atau tidak signifikan, maka



$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial c}{\partial x} \right) = 0$$

Sehingga persamaan yang digunakan untuk menentukan efektifitas danau sebagai *stabilization pond* adalah :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V \frac{\partial c}{\partial x} + kc + A_s vc = 0$$

Akumulasi adalah perubahan massa dalam suatu sistem tiap perubahan waktu

$$Akumulasi = \frac{\Delta M}{\Delta t}$$

Dimana :

$\Delta M$  = perubahan massa

$\Delta t$  = perubahan waktu

Massa berkaitan dengan perubahan konsentrasi dapat dilihat pada persamaan dibawah ini

$$c = \frac{M}{V}$$

### 2.3.1. Beban (*Loading*)

Beban adalah massa yang masuk dalam sistem badan air yang berasal dari berbagai sumber dan masuk melalui jalan yang berbeda. Contohnya adalah massa yang berasal dari limbah pupuk pertanian dan anak sungai masuk dalam sistem danau melalui satu titik yang berada di sekitar danau. Beban di simbolkan dengan  $W$  dimana  $W$  berubah sesuai waktu

Beban =  $W(t)$

dimana :

Beban =  $Q \cdot c_{in}(t)$

Dimana  $Q$  adalah debit dari sumber air yang masuk dalam sistem ( $L^3T^{-1}$ ) dari persamaan diatas didapatkan persamaan seperti di bawah ini

$$c_{in}(t) = \frac{W(t)}{Q}$$

Jadi perubahan konsentrasi menurut waktu berbanding lurus dengan perubahan beban menurut waktu.

### 2.3.2. Outflow

Perpindahan atau perubahan massa yang terbawa masuk dalam system melalui outflow sungai. Nilai dari transport massa dapat diquantifikasikan sebagai produk dari debit (Q) dan konsentrasi outflow

Konsentrasi outflow ( $c_{out}$ ) yang ada di danau diidentifikasi dengan c

$$c_{out} = c$$

outflow yang masuk dalam suatu sistem danau dapat direpresentasikan dengan

$$\text{outflow} = Q \cdot c$$

### 2.3.3. Reaksi Kimia

Ada beberapa cara yang berbeda untuk memformulasikan reaksi peluruhan polutan dari sistem air yang ada di alam.

Reaksi = k.M

dimana :

k = faktor empiris untuk peluruhan ( $T^{-1}$ )

di bawah ini adalah beberapa persamaan untuk mendapatkan nilai k

- Persamaan mencari nilai k untuk orde 0

$$\frac{dc}{dt} = -k$$

$$\int_{c_0}^c dc = -k \int_0^t dt$$

$$c = c_0 - kt$$

- Persamaan mencari nilai k untuk orde 1

$$\frac{dc}{dt} = -kc$$

$$\int_{c_0}^c \frac{1}{c} dc = -k \int_0^t dt$$

$$c = c_0 e^{-kt}$$

- Persamaan mencari nilai k untuk orde 2

$$\frac{dc}{dt} = -kc^2$$

$$\int_{c_0}^c \frac{1}{c^2} dc = -k \int_0^t dt$$

$$-\frac{1}{c} + \frac{1}{c_0} = -kt$$

#### 2.3.4. Pengendapan (*Settling*)

Laju pengendapan dapat diformulasikan sebagai *flux* dari massa sedimen yang bergerak secara vertikal pada suatu area. Perkalian dari flux time dan area dalam persamaan kekekalan massa dapat dikembangkan sebagai berikut :

$$Settling = v.A_s.c$$

dimana :

V = kecepatan pengendapan ( $LT^{-1}$ )

$A_s$  = luas permukaan sedimen

Karena volume adalah luas area ( $A_s$ ) dikalikan dengan kedalaman (H), maka persamaan diatas dapat diformulasikan dengan :

$$Settling = ks.V.c$$

dimana  $ks$  = laju peluruhan =  $\frac{v}{H}$

#### 2.3.5. Resident Time (Waktu Tingal)

Resident time adalah waktu yang di butuhkan parameter untuk berproses dalam peluruhan partikel/pulutan. Persamaan yang digunakan untuk mengitung *resident time* adalah :

$$\tau_c = \frac{V}{Q + k.V + v.A_s.c}$$

dimana :

$\tau_c$  = Waktu tinggal (T)

V = Volume ( $L^3$ )

Q = Debit ( $L^3T^{-1}$ )

k = Laju peluruhan ( $T^{-1}$ )

v = *flux* ( $LT^{-1}$ )

$A_s$  = Luas Permukaan ( $L^2$ )

c = Konsentrasi ( $ML^{-3}$ )

### 2.3.6. Solusi Model dengan Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta merupakan salah satu metode numerik yang digunakan secara luas dalam permodelan kualitas air. Metode Runge-Kutta memiliki bentuk umum sebagai berikut,

$$c_{i+1} = c_i + \phi h$$

Dimana  $\phi$  adalah perkiraan gradien (secara formal disebut fungsi gradien).

Dalam metode Runge-Kutta biasanya menggunakan metode orde keempat yang ditunjukkan dalam bentuk persamaan di bawah ini.

$$c_1(t + \Delta t) = c_1(t) + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \text{ dimana,}$$

$$K_1 = f(t, c(t)) = \frac{W}{V} - \lambda_1 \cdot C_1(t),$$

$$K_2 = f\left(t + \frac{1}{2} \Delta t, C(t) + \frac{1}{2} \Delta t \cdot K_{11}\right) = \frac{W}{V} - \lambda_1 \cdot C_1\left(t + \frac{1}{2} \Delta t \cdot K_{11}\right),$$

$$K_3 = f\left(t + \frac{1}{2} \Delta t, C(t) + \frac{1}{2} \Delta t \cdot K_{21}\right) = \frac{W}{V} - \lambda_1 \cdot C_1\left(t + \frac{1}{2} \Delta t \cdot K_{21}\right),$$

$$K_4 = f\left(t + \Delta t, C(t) + \Delta t \cdot K_{31}\right) = \frac{W}{V} - \lambda_1 \cdot C_1\left(t + \Delta t \cdot K_{31}\right).$$

### 2.4 Tata Guna Lahan Sub- DAS Sugutamu

Tata guna lahan Sub-DAS Sugutamu sesuai dengan Rencana Tata Ruang dan Waktu (RTRW) kota Depok tahun 2000 dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel.2.1. Tata Guna Lahan Sub-DAS Sugutamu

Jenis Pemanfaatan	Tahun 2000	Jenis Pemanfaatan	Rencana Tahun 2010
	Luas(km2)		Luas(km2)
Sawah teknis	0,061	Sawah Teknis	0,061
Industri	0,102	Industri	0,128
Pemukiman	6,687	Pemukiman	9,018
Situ	0,169	Situ	0,169
Kebun	1,986	Khusus	1,533
Rumput/tanah kosong	0,351	Dagang/Jasa	0,44
Ladang/tegalan	1,736	Campuran	0,378
Tanah perusahaan	0,635		
	11,727		11,727

(Sumber Data : Peta Tata Guna Lahan Kota Depok Tahun 2000, Peta Rencana Tata Guna Lahan Tahun 2010, dan Peta Topografi Kota Depok (BAPEDA Kota Depok)

*Catchment area* dari Situ Baru jika dilihat pada peta penggunaan lahan sebagian besar adalah daerah pertanian dan perumahan sehingga beban yang masuk pada Situ Baru didominasi oleh limbah domestik dan pertanian.

a. Limbah Domestik

Limbah domestik adalah limbah yang berasal dari air bekas pemakaian di daerah permukiman dan komersil, dan konsentrasi bahan limbah didominasi oleh bahan organik dan dapat langsung diolah secara fisik dan biologis. Kegiatan domestik yang menghasilkan limbah berasal dari masak, mandi, cuci, dan sebagainya. Komposisi limbah domestik terdiri dari 99,9% cair dan 0,1% padat, 70% bahan organik dan 30% anorganik. Bahan organik tersebut umumnya terdiri atas 65% protein, 25% karbohidrat dan 10% lemak. Bahan anorganik terdiri dari pasir, garam dan logam.

Tabel 2.2 Variasi Komposisi Air Limbah Domestik (UNEP,1997)

Contaminant	Specific production (g cap <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>	Concentration <sup>1</sup> (mg l <sup>-1</sup> ) <sup>2</sup>
Total dissolved solids	100-150	400-2,500
Total suspended solids	40-80	160-1,350
BOD	30-60	120-1,000
COD	70-150	280-2,500
Kjeldahl-nitrogen (as N)	8-12	30-200
Total phosphorus (as P)	1-3	4-50
Faecal coliform (No. per 100 ml)	10 <sup>6</sup> -10 <sup>9</sup>	4×10 <sup>6</sup> -1.7×10 <sup>7</sup>

BOD: *Biochemical oxygen demand*

COD: *Chemical oxygen demand*

b. Limbah Pertanian

Limbah pertanian adalah limbah yang berasal dari air limpasan lahan pertanian termasuk peternakan, dan konsentrasi bahan limbah juga didominasi oleh bahan organik. Umumnya air limbah pertanian tidak diolah dulu sebelum masuk ke badan air. Sumber air limbah pertanian berasal dari lahan kebun/sawah/ladang dan kandang ternak. Tipikal kontaminan dari lahan pertanian ada nutrisi (produk fotosintesa (C, H, O), makronutrien, dan mikronutrien) dan sisa pupuk) dan sedimen. Nutrien penting sebagai indikator pencemar adalah nitrogen dan fosfat.

2.5 Parameter Kualitas Air

Parameter kualitas air yang ditinjau pada penelitian ini adalah DO, TSS, N dan P. parameter tersebut mewakili beban limbah yang masuk dalam danau dilihat dari tata guna lahan yang ada di Situ Baru.

Nilai dari DO yang ditinjau dapat mewakili nilai dari BOD karena BOD dan DO memiliki sifat yang bertolak belakang. Semakin tinggi tingkat pencemaran maka semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk proses dekomposisi dan semakin tinggi nilai BOD. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3. Pada gambar 3 dapat dilihat dengan adanya polutan yang masuk dalam badan air, maka nilai BOD meningkat seiring dengan penurunan nilai DO.

#### 2.5.1 Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO)

Oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* = DO) dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan. Disamping itu, DO juga dibutuhkan untuk oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik dalam proses aerobik. Sumber utama oksigen dalam suatu perairan berasal proses difusi dari udara bebas dan hasil fotosintesis organisme yang hidup dalam perairan tersebut (Salmin, 2000). Kecepatan difusi oksigen dari udara, tergantung dari beberapa faktor, seperti kekeruhan air, suhu, salinitas, pergerakan massa air dan udara seperti arus, gelombang dan pasang surut. DO adalah fungsi hidrolis dan kualitas DO adalah fungsi dari kecepatan, Odum (1971) menyatakan bahwa kadar oksigen dalam air akan bertambah dengan semakin rendahnya suhu dan berkurang dengan semakin tingginya salinitas. Pada lapisan permukaan, kadar oksigen akan lebih tinggi, karena adanya proses difusi antara air dengan udara bebas serta adanya proses fotosintesis. Dengan bertambahnya kedalaman akan terjadi penurunan kadar oksigen terlarut, karena proses fotosintesis semakin berkurang dan kadar oksigen yang ada banyak digunakan untuk pernapasan dan oksidasi bahan-bahan organik dan anorganik. Keperluan organisme terhadap oksigen relatif bervariasi tergantung pada jenis, stadium dan aktifitasnya. Kebutuhan oksigen untuk ikan dalam keadaan diam relatif lebih sedikit apabila dibandingkan dengan ikan pada saat bergerak. Jenis-jenis ikan tertentu yang dapat menggunakan oksigen dari udara bebas, memiliki daya tahan yang lebih terhadap perairan yang kekurangan oksigen terlarut (Wardoyo, 1978). Kandungan oksigen terlarut (DO) minimum adalah 2 ppm dalam keadaan normal dan tidak tercemar oleh senyawa beracun (*toksik*). Kandungan oksigen terlarut minimum ini sudah cukup mendukung kehidupan organisme (Swingle, 1968). Idealnya, kandungan oksigen terlarut tidak boleh kurang dari 1,7 ppm selama waktu 8 jam dengan sedikitnya pada tingkat kejenuhan sebesar 70 % (Huet, 1970). Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas

perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik.

Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerobik, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan domestik (rumah tangga). Sebagaimana diketahui bahwa oksigen berperan sebagai pengoksidasi dan pereduksi bahan kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Disamping itu, oksigen juga sangat dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk pernapasan. Organisme tertentu, seperti mikroorganisme, sangat berperan dalam menguraikan senyawa kimia beracun menjadi senyawa lain yang lebih sederhana dan tidak beracun. Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen. Zat pencemar tersebut terutama terdiri dari bahan-bahan organik dan anorganik yang berasal dari berbagai sumber, seperti kotoran (hewan dan manusia), sampah organik, bahan-bahan buangan dari industri dan rumah tangga.

Menurut Connel and Miller (1995), sebagian besar dari zat pencemar yang menyebabkan oksigen terlarut berkurang adalah limbah organik. Menurut Lee *et al.* (1978), kandungan oksigen terlarut pada suatu perairan dapat digunakan sebagai indikator kualitas perairan, seperti terlihat pada Tabel 2.3,

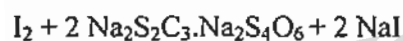
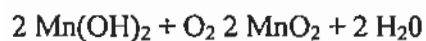
Tabel.2.3 . Status kualitas air berdasarkan kandungan DO (Lee *et al.*, 1978)

No	Kadar Oksigen Terlarut (mg/l)	Status Kualitas Air
1	> 6,5	Tidak tercemar sampai tercemar sangat ringan
2	4,5 – 6,4	Tercemar ringan
3	2,0 – 4,4	Tercemar sedang
4	< 2,0	Tercemar berat

Oksigen terlarut dapat dianalisis atau ditentukan dengan 2 macam cara, yaitu :

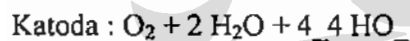
1. Metoda titrasi dengan cara Winkler

Metoda titrasi dengan cara Winkler secara umum banyak digunakan untuk menentukan kadar oksigen terlarut. Prinsipnya dengan menggunakan titrasi iodometri. Sampel yang akan dianalisis terlebih dahulu ditambahkan larutan  $MnCl_2$  dan  $NaOH - KI$ , sehingga akan terjadi endapan  $Mn(OH)_2$ . Dengan menambahkan  $H_2SO_4$  atau  $HCl$  maka endapan yang terjadi akan larut kembali dan juga akan membebaskan molekul iodium ( $I_2$ ) yang ekuivalen dengan oksigen terlarut. Iodium yang dibebaskan ini selanjutnya dititrasi dengan larutan standar natrium tiosulfat ( $Na_2S_2O_3$ ) dan menggunakan indikator larutan amilum (kanji). Reaksi kimia yang terjadi dapat dirumuskan sebagai berikut :



## 2. Metoda elektrokimia

Cara penentuan oksigen terlarut dengan metoda elektrokimia adalah cara langsung untuk menentukan oksigen terlarut dengan alat DO meter. Prinsip kerjanya adalah menggunakan probe oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan elektrolit. Pada alat DO meter, probe ini biasanya menggunakan katoda perak ( $Ag$ ) dan anoda timbal ( $Pb$ ). Secara keseluruhan, elektroda ini dilapisi dengan membran plastik yang bersifat semi permeable terhadap oksigen. Reaksi kimia yang akan terjadi adalah :



Aliran reaksi yang terjadi tersebut tergantung dari aliran oksigen pada katoda. Difusi oksigen dari sampel ke elektroda berbanding lurus terhadap konsentrasi oksigen terlarut. Penentuan oksigen terlarut (DO) dengan cara titrasi berdasarkan metoda Winkler lebih analitis apabila dibandingkan dengan cara alat DO meter. Hal yang perlu diperhatikan dalam titrasi iodometri ialah penentuan titik akhir titrasinya, standarisasi larutan tiosulfat dan pembuatan larutan standar kaliumbikromat yang tepat. Dengan mengikuti prosedur penimbangan kaliumbikromat dan standarisasi tiosulfat secara analitis, akan diperoleh hasil penentuan oksigen terlarut yang lebih akurat. Sedangkan penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter, harus diperhatikan suhu dan salinitas sampel yang akan diperiksa. Peranan suhu dan salinitas ini sangat vital



terhadap akurasi penentuan oksigen terlarut dengan cara DO meter. Disamping itu, sebagaimana lazimnya alat yang digital, peranan kalibrasi alat sangat menentukan akurasi hasil penentuan.

#### 2.5.2 Zat padat tersuspensi (*Suspended Solid* = SS)

Zat padat tersuspensi (*Suspended Solid* = SS) adalah bahan-bahan tersuspensi yang digolongkan sebagai partikel diskrit (diameter  $>1\mu\text{m}$ ) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori  $0,45\ \mu\text{m}$ . SS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik terutama yang disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi yang terbawa ke dalam badan air. Masuknya SS ke dalam perairan dapat menimbulkan kekeruhan air. Hal ini menyebabkan menurunnya laju fotosintesis fitoplankton, sehingga produktivitas primer perairan menurun, dan pada akhirnya dapat menyebabkan terganggunya keseluruhan rantai makanan.

Konsentrasi SS yang tinggi akan mempengaruhi biota di perairan. Menurut Fardiaz (1992), SS akan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air, sehingga mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis dan kekeruhan air juga semakin meningkat. Ditambahkan oleh Nybakken (1992), peningkatan kadar SS dalam air dapat mengakibatkan penurunan kedalaman *eufotik*, sehingga kedalaman perairan produktif menjadi turun. Penentuan SS sangat berguna dalam analisis perairan tercemar dan buangan serta dapat digunakan untuk mengevaluasi kekuatan air, limbah domestik, maupun menentukan efisiensi unit pengolahan. SS mempengaruhi kekeruhan dan kecerahan air.

Mahida (1993) mendefinisikan kekeruhan sebagai intensitas kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang. Kekeruhan perairan umumnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel suspensi seperti tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik terlarut, bakteri, plankton dan organisme lainnya. Kekeruhan perairan menggambarkan sifat optik air yang ditentukan berdasarkan banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh bahan-bahan yang terdapat dalam air (Davis dan Cornwell, 1991).

Kekeruhan yang terjadi pada perairan seperti sungai lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi berupa koloid dan partikel-partikel halus. Kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya sistem osmoregulasi seperti pernafasan dan daya lihat organisme akuatik serta dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air. Menurut Koesoebiono (1979), pengaruh kekeruhan yang utama adalah penurunan

penetrasi cahaya secara mencolok, sehingga aktivitas fotosintesis fitoplankton dan alga menurun, akibatnya produktivitas perairan menjadi turun. Di samping itu Effendi (2003), menyatakan bahwa tingginya nilai kekeruhan juga dapat menyulitkan usaha penyaringan dan mengurangi efektivitas desinfeksi pada proses penjernihan air.

Kecerahan merupakan ukuran transparansi perairan yang ditentukan secara visual dengan menggunakan *secchi disk* (Effendi, 2003). Kecerahan perairan sangat dipengaruhi oleh keberadaan SS, zat-zat terlarut, partikel-partikel dan warna air. Pengaruh kandungan lumpur yang dibawa oleh aliran sungai dapat mengakibatkan tingkat kecerahan air menjadi rendah, sehingga dapat menurunkan nilai produktivitas perairan (Nybakken, 1992).

Zat padat tersuspensi dapat dianalisis atau ditentukan secara gravimetri. Metode ini digunakan untuk menentukan residu tersuspensi yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Metode ini tidak termasuk penentuan bahan yang mengapung, padatan yang mudah menguap dan dekomposisi garam mineral. Prinsip pengujian SS dengan metode ini adalah dengan penyaringan contoh uji yang telah homogen dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Jika padatan tersuspensi menghambat saringan dan memperlama penyaringan, diameter pori-pori saringan perlu diperbesar atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

### 2.5.3. Nitrogen

Atmosfer mengandung 78% nitrogen dan menjadikannya sebagai reservoir nitrogen terbesar. Nitrogen berperan penting dalam proses biologis. Misal dalam organisme, dengan asam amino, nitrogen membentuk protein, selain itu nitrogen menjadi bahan dasar pembentuk asam nukleik seperti DNA dan RNA. Untuk tumbuhan, nitrogen digunakan dalam molekul klorofil yang berperan penting dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan (Smil, 2000). Molekul  $N_2$  sangat stabil sehingga memecahnya menjadi atom yang dapat digabungkan dengan senyawa kimia anorganik dan organik nitrogen adalah batasan dalam siklus nitrogen. Hal tersebut terjadi dalam proses energetik sangat tinggi dalam pelepasan petir yang memproduksi nitrogen oksida.

#### Konversi Gas Nitrogen Atmosferik

Ada empat cara untuk mengkonversi  $N_2$  (gas nitrogen atmosferik) menjadi bentuk-bentuk reaktif secara kimia (Smil, 2000):

- *Fiksasi biologis*, beberapa bakteri simbiosis (terutama sering dikaitkan dengan tumbuhan leguminous) dan beberapa bakteri bebas dapat digunakan untuk mengikat nitrogen dan mengasimilasinya sebagai nitrogen organik. Sebagai contoh untuk bakteri simbiosis mutualisme yang mengikat nitrogen adalah rhizobium spesies diazotrof yang hidup di akar tumbuhan.
- *Fiksasi-N secara industri*, misal dalam proses Haber-Bosch di mana  $N_2$  diubah bersama dengan gas hidrogen ( $H_2$ ) menjadi pupuk amonia ( $NH_3$ )
- *Pembakaran bahan bakar fosil*, misal mesin kendaraan bermotor dan pabrik daya suhu tinggi (thermal power plants) yang melepas  $NO_x$
- Proses lain, sebagai tambahan, *formasi NO dari  $N_2$  dan  $O_2$  berdasarkan dari foton dan petir*, adalah penting untuk proses kimia atmosferik, tetapi sebaliknya tidak untuk nitrogen terestrial atau akuatik.

Manusia dengan ekstensifikasi pertanian yang menggunakan pupuk kimia proses Haber-Bosch, dan juga emisi polusi kendaraan dan pabrik melipatgandakan transfer tahunan nitrogen ke dalam bentuk biologis (Vitousek et al, 1997). Hal tersebut menyebabkan kerusakan badan air dan lahan basah beserta habitatnya melalui eutrofikasi.

#### Asimilasi Nitrogen

Pada tumbuhan yang memiliki hubungan simbiosis mutualisme seperti *rhizobium*, nitrogen diasimilasi ke dalam bentuk ion amonium dari bentuk nodul. Semua tumbuhan pula dapat mengabsorpsi nitrat dari tanah lewat rambut-rambut akarnya. Hal tersebut kemudian tereduksi menjadi ion nitrat dan ion amonium untuk pembentukan asam amino, dan lalu menjadi protein yang membentuk bagian tumbuhan atau hewan yang memakannya (Smil, 2000).

#### Amonifikasi

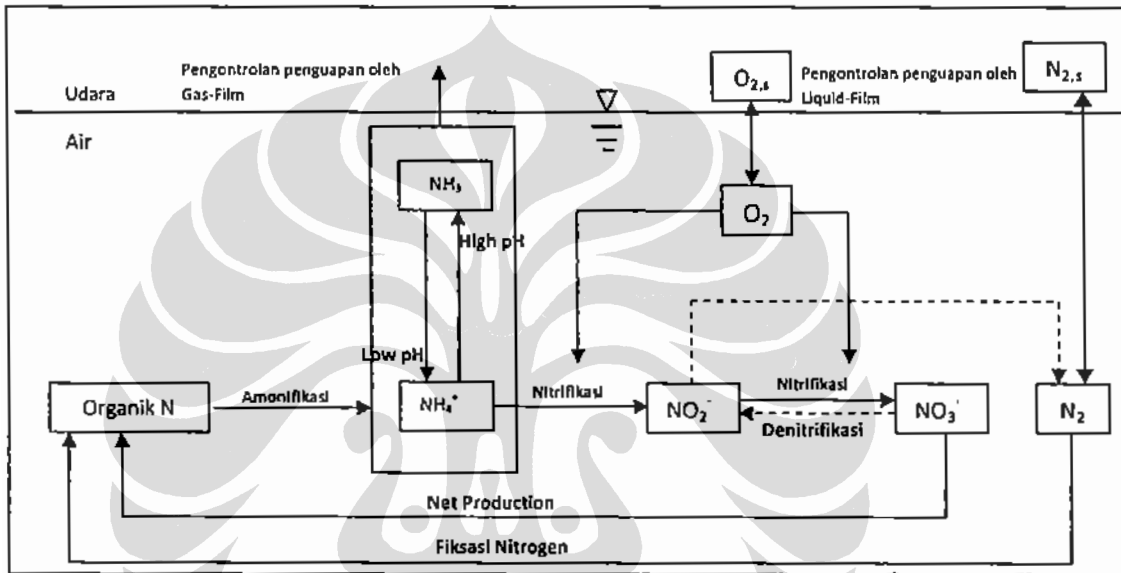
Nitrat adalah bentuk kebanyakan nitrogen yang diasimilasi oleh tumbuhan, di mana sebaliknya dikonsumsi oleh heterotrof untuk pembentukan senyawa seperti asam amino dan asam nukleik. Sisanya kemudian akan didekomposisikan menjadi materi organik yang kaya akan nutrisi. Beberapa bakteri dan jamur akan mengubah nitrat untuk kemudian sisanya berubah kembali menjadi amonia.

### Nitrifikasi

Proses konversi amonia menjadi nitrat dilakukan terutama oleh bakteri yang hidup di tanah. Tahapan utama dari proses nitrifikasi yaitu oksidasi amonia ( $\text{NH}_3$ ) dilakukan oleh bakteri dari spesies *nitrosomonas* yang akan mengubah amonia menjadi nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ). Bakteri spesies lain seperti *nitrobakter* bertanggung jawab dalam proses oksidasi nitrit menjadi nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) (Smil, 2000).

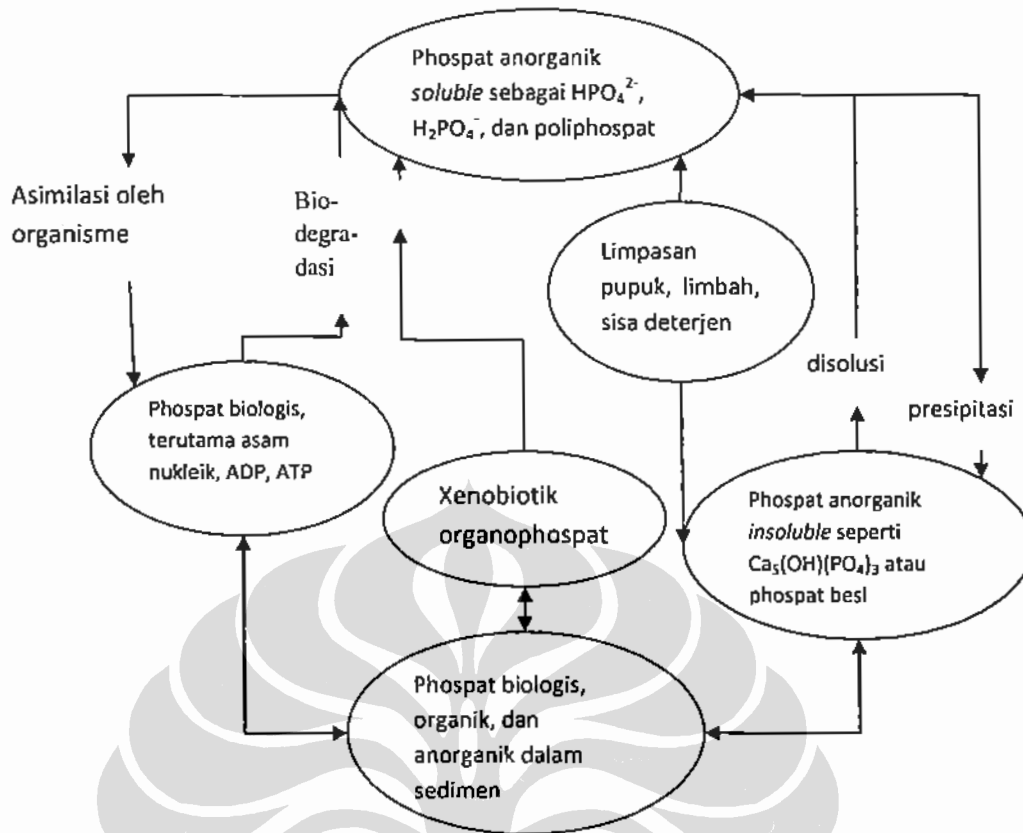
### Denitrifikasi

Proses denitrifikasi adalah proses balik reduksi nitrat kembali menjadi gas nitrogen inersia ( $\text{N}_2$ ) yang akan melengkapi siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti *pseudomonas* (Smil, 2000).



Gambar. 2.4. Siklus Nitrogen di Alam

#### 2.5.4. Phospat



Gambar 2.5. Siklus Phospat

Siklus phospat penting karena phospat biasanya menjadi faktor pembatas nutrisi di dalam ekosistem. Di geosfer, phospat sebagian besar terbentuk mineral terlarut, seperti hidroksipatit, suatu garam kalsium, endapan yang mengisi mayoritas reservoir phospat lingkungan. Phospat terlarut dari mineral phospat dan lainnya, seperti pupuk, akan dipergunakan oleh tumbuhan dan membentuk asam nukleik yang membentuk materi genetik organisme. Mineralisasi biomassa oleh pembusukan mikrobial mengembalikan phospat dalam bentuk garam yang membentuk bahan mineral.

Reservoir utama phospat di lingkungan adalah antroposfer. Bagian terbesar phospat diekstrak dari mineral phospat untuk pupuk, industri kimia dan zat aditif makanan. Phospat adalah spesies pembentuk sebagian senyawa beracun, terutama insektisida organophospat dan gas racun saraf dalam militer.

Siklus Phospat dikaji di dataran rendah terutama daerah sub-urban. Berikut di bawah ini, beberapa komponen yang diidentifikasi awal (*initial condition*) yaitu sumber kegiatan, media, dan proses yang terlibat, yaitu:

1. Sumber Kegiatan:

- Pabrik (Industri)
- Pertanian

2. Media:

- Udara
- Air
- Tanah

3. Proses yang terlibat:

- Produksi phospat dari pupuk kandang dan tumbuhan
- Reservoir phospat dari batuan dan tanah
- Rantai makanan dari bakteri pemakan phospat sampai organisme yang lebih tinggi
- Gerusan phospat dari batuan dan permukaan tanah
- Produksi phospat dari limbah domestik (deterjen) dan industri

Senyawa sulfur yang ada di alam hanya dalam bentuk phospat ( $PO_4$ ). Proses dimulai dari kegiatan pabrik/industri dan pertanian oleh manusia (antrosfer) pada media tanah. Dimulai dari daerah ke hulu yaitu pertanian. Pertanian memakai pupuk phospat untuk menyuburkan tanaman. Ternak memerlukan phospat (ATP) untuk energi.

Pabrik dan domestik memproduksi limbah phospat. Limbah masuk ke dalam badan air. Di badan air (hidrosfer) terjadi rantai makanan dimulai dari bakteri dan fitoplankton pemakan ortophospat kemudian dimakan oleh organisme yang lebih tinggi.