BAB 2
KONSEP DASAR TRANSPOR SEDIMEN DAN KOPROSTANOL

Dalam rangka memahami fenomena penyebaran limbah domestik dan pemodelan transpor, maka pada bagian ini akan diuraikan beberapa konsep dasar tentang kedua hal tersebut diatas. Konsep dasar tersebut akan terkait dengan proses koprostanol sebagai indikator limbah domestik dan konsep transpor sedimen. Selain itu pada bagian ini juga akan dijelaskan tentang perunut radioaktif yang digunakan sebagai pembanding model.

2.1. Karakteristik Sedimen Kohesif

Berdasarkan dari beberapa literatur yang ada, ditemukan beberapa macam pendekatan defenisi sedimen kohesif. Dari sekian banyak defenisi tersebut, yang sering digunakan adalah suatu material sangat halus yang memiliki diameter butiran kurang dari 100 μm dan lebih dari 10% memiliki peran sifat kohesif sangat dominan. Sifat kohesif tersebut disebabkan oleh besarnya gaya elektrostatis yang bekerja diantara partikel (Graf, 1984). Partikel tidak berbentuk butiran, tetapi membentuk kumpulan agregat yang disebut flok dan memiliki kecepatan jatuhnya lebih besar daripada butiran partikel penyusunnya (Van Rijn, 1993). Material-material tersebut biasanya terdapat di dasar aliran air atau genangan air yang merupakan campuran (*mixture*) yang tersusun dari material-material yang kompleks dari air asin, mineral-mineral (seperti *illite*, *monmorilonitte*, dan *kaolinite*), bahan organik dan pasir dalam jumlah sangat kecil, di dalam aliran fluida yang dapat terbawa, tererosi atau mengendap, mempunyai sifat-sifat mengikat antar partikelnya.

Berbeda dengan pasir (sedimen nonkohesif) yang dapat sepenuhnya dikarakteristikkan dengan distribusi ukuran butirnya, sedimen kohesif adalah bersifat sebagai lumpur yang tidak dapat dikarakteristikkan berdasarkan ukuran butirnya.

2.1.1. Komposisi Mineral dan Ukuran Butir Sedimen

Sebagian besar mineral-mineral yang terdapat dalam sedimen kohesif atau lumpur adalah *illite*, *monmorrilonite* dan *kaollinete*.Sebenarnya masih ada kandungan mineral lumpur

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

lainnya, diantaranya *holloysites*, *chlorites* dan *vermiculites*, tetapi secara umum dalam jumlah yang kecil.

Umumnya *kaolinitte, Illite dan Monmorillonite* masing-masing memiliki kandungan 30%, kandungan bahan organik 1,2%, dan sisanya pasir. Ukuran butir lumpur 1 – 40 μm dengan diameter mediannya D_{50} antara 1 – 2 μm. Warna dari lumpur biasanya bervariasi dari putih, kuning dan hijau. Hampir seluruh tipe mineral lumpur diidentifikasi bersamaan tipe-tipe tanah dimana dibentuk oleh proses iklim.

Mineral tersebut merupakan partikel-partikel yang terkecil dan diskrit yang menyusun lumpur. Suatu zat dengan fasa padat dari unsur kimia atau persenyawaan kimia yang dibentuk oleh proses-proses organik dan mempunyai susunan kimiawi tertentu dan suatu penempatan atom-atom secara beraturan di dalamnya atau dikenal sebagai struktur kristal (Graf, 1984).

Karakterisitik mineral selalu dikaitkan dengan panjang, ketebalan, permukaan spesifik dan *cation exchange capacity* (CEC).CEC adalah sifat menarik kation ataupun anion.Mineral-mineral lumpur memiliki sifat saling tarik menarik antara kation dan anion dan menyimpannya untuk dapat dilepas kembali.

Banyaknya variasi faktor-faktor yang berperan antara mineral satu dengan yang lainnya, membuat reaksi-reaksi pertukaran dalam mineral lumpur begitu kompleks.Sehingga tidak ada suatu nilai CEC tunggal dalam suatu grup mineral lumpur. Walaupun demikian nilai-nilai CEC dapat dipakai sebagai pembanding yang lebih akurat apabila diperoleh dari standar prosedur yang sama.

Bertambahnya CEC menyebabkan berkurangnya konstanta kecepatan erosi (M) (Ariathurai, 1978).Dalam kondisi lapisan difusi ganda yang tipis, naiknya harga CEC menghasilkan ikatan kohesif yang lebih kuat sehingga meningkatkan tegangan geser kritis. Sedangkan pada kondisi lapisan difusi ganda yang lebih tebal, bertambahnya CEC menghasilkan berkurangnya kekuatan gaya Van der Wals sehingga kekuatan geser kritis berkurang. Tabel 2.1.menyajikan tentang karakteristik dasar mineral-mineral lumpur seperti *spesific surface*, ketebalan partikel dan panjang.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Tabel 2.1.Karakteristik dasar mineral-mineral lumpur.

Mineral	**Panjang** $[\mu m]$	**Ketebalan** $[\mu m]$	**Luas Permukaan** $\left[m^2/gr\right]$	**CEC** $meq/100gr$
Kaolinite	1	0.1	25 s/d 50	5 s/d 10
Illite	0,3	0.01	75 s/d 125	20 s/d 40
Montmorillonit	0,1	0.001	750	80 s/d 125

2.1.2. Kecepatan Jatuh (*Setling velocity*)

Kecepatan jatuh merupakan kecepatan jatuh suatu partikel yang tidak mengalami percepatan karena gaya gravitasi dan diimbangi oleh gaya apung dan gaya gesek. Kecepatan jatuh ini merupakan salah satu parameter sifat sedimen kohesif yang biasanya dituliskan dalam notasi W_s. Kecepatan jatuh dapat merupakan kecepatan endap (*fall velocity*) dari individu partikel, kumpulan partikel (*agregat*) atau flok yang terbentuk oleh gaya ikatan antar partikel, ataupun kumpulan partikel dengan orde lebih tinggi.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan jatuh sedimen adalah : turbulensi, konsentrasi, salinitas, kekuatan flok, *differential settling*, dan temperatur. Saat turbulensi rendah, kemungkinan akan terbentuk flok atau agregat yang ordenya lebih tinggi. Hal ini disebabkan adanya pergerakan turbulen mempertinggi jumlah pertemuan antara partikel sedimen. Kecepatan jatuh akan bertambah seiring dengan bertambahnya tegangan turbulen. Sebaliknya pada tingkat turbulensi yang lebih tinggi, tegangan turbulen akan menghancurkan agregat, dan kecepatan jatuh akan berkurang seiring dengan meningkatnya tegangan turbulen.

Konsentrasi yang tinggi mengakibatkan jarak antara partikel suspensi menjadi lebih rapat, dan disebabkan sifat kohesifitas sedimen, maka akan terbentuk flok atau agregat dengan orde yang lebih tinggi. Ketika flok terbentuk kecepatan jatuh akan meningkat. Selain itu, konsentrasi yang tinggi juga menimbulkan suatu efek jatuh yang tertahan yaitu guncangan dan/atau halangan pada partikel sekitarnya, sehingga akan memperlambat partikel sekitarnya untuk jatuh. Efek jatuh yang tertahan ini umumnya dianggap penting apabila konsentrasi sedimen antara 3 sampai 10 kg/m^3.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Penelitian Yusuf (1998) untuk sedimen muara Banjir Kanal Timur Semarang memperoleh kecepatan jatuh partikel koloid sebagai fungsi salinitas. Untuk dua tingkatan konsentrasi partikel koloid awal diperoleh perumusan : $W_s = 0{,}23.S^{0.09}$ (untuk C = 230 gr/lt) dan $W_s = 0{,}11.S^{0.17}$ (untuk C = 110 gr/lt). Penelitian tersebut menjelaskan bahwa konsentrasi partikel koloid yang lebih besar akan memberikan kecepatan endap yang lebih tinggi.

Penelitian yang dilakukan oleh Thorn dan Parson (1980) memperlihatkan bahwa pada konsentrasi rendah kecepatan jatuh bertambah dengan meningkatnya konsentrasi.Sedangkan pada konsentrasi tinggi, kecepatan jatuh justru menurun dengan meningkatnya konsentrasi sedimen tersuspensi.

Salinitas juga akan mempengaruhi lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel. Apabila salinitas meningkat maka lapisan difusi ganda yang mengelilingi partikel menjadi menipis, hal ini akan mengakibatkan jarak antar partikel menjadi lebih dekat dan timbul gaya Van der Waals sehingga sifat kohesif menjadi lebih kuat dan akan terbentuk flok baru yang meningkatkan kecepatan jatuh (Krone, 1962).

Mehta dan Lott (1987) menyatakan bahwa kekuatan flok (m) berhubungan dengan kecepatan jatuh flok, dimana kekuatan flok yang kuat lebih padat dan mempunyai kecepatan jatuh yang lebih besar :

$$\tau_s = W_s^m \qquad (2.6)$$

untuk kaolinitte diperoleh $0{,}1 < m < 0{,}6$.

Differential settling merupakan salah satu efek dari aliran alami. Akibat adanya perbedaan dari distribusi kecepatan jatuh dari flok yang memiliki ukuran berbeda-beda, maka flok yang lebih besar akan mengambil alih flok yang lebih kecil dan tabrakan dapat menghasilkan agregat dengan orde yang lebih tinggi. Akibatnya terbentuk flok baru dari penambahan orde agregat tersebut dan mempunyai kecepatan jatuh yang lebih tinggi.

Data tentang pengaruh temperatur terhadap kecepatan jatuh sedimen untuk masing-masing tipe sedimen belum tersedia dengan lengkap.Oleh karenanya belum tersedia juga rumusan seberapa besar pengaruh temperatur terhadap kecepatan jatuh. Secara teoritis temperatur akan mempengaruhi kekentalan (*viscosity*) air dan sedimen. Hal lain juga akan mempengaruhi ketebalan lapisan difusi ganda yang dapat mempengaruhi terhadap proses flokulasi.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

2.1.3. Pengendapan (*Deposition*)

Pengendapan dan resuspensi sedimen halus selama siklus pasut merupakan karakteristik penting dari transpor sedimen kohesif di estuari, hal tesebut sangat diperlukan guna memodelkan dinamika sedimen untuk memperoleh informasi secara kuantitatif pada proses perubahan di dasar, yakni pengendapan dan penggerusan (Dronkers and van Leussen, 1988).

Pengendapan merupakan suatu peristiwa dimana material sedimen tersuspensi (partikel, agregat atau flok) jatuh ke dasar perairan dan menjadi sedimen dasar. Pada peristiwa ini arus sudah tidak mampu lagi mengangkat atau mempertahankan partikel sedimen berada dalam kolom air, dengan pengertian lain bahwa tegangan geser dasar aliran lebih kecil dibandingkan tegangan geser kritis pengendapan. Pengendapan merupakan salah satu parameter yang penting dalam studi mekanisme sedimen kohesif.

Peristiwa berlangsungnya proses pengendapan sedimen kohesif dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik yang berasal dari karakteristik sedimen itu sendiri, maupun faktor luar. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut diantaranya adalah: ukuran partikel, kecepatan jatuh, konsentrasi,dan kekuatan dari unit-unit partikel. Unit ini mungkin terdiri dari partikel tunggal, agregat atau flok yang mungkin akan jatuh secara bersamaan dalam satu unit (Umar, 2000).

Beberapa formulasi pengendapan telah dirumuskan, salah satunya adalah oleh Krone (1962) :

$$\frac{dm}{dt} = \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{dc}}\right) W_s C \quad \text{untuk} \qquad \tau \le \tau_{dc} \qquad (2.7)$$

dimana τ_{dc} adalah batas tegangan geser kritis lumpur dan τ merupakan tegangan geser yang dialami oleh lumpur.

Yusuf dan Fajar (1999) juga telah melakukan penelitian terhadap sedimen yang diambil dari Sagara Anakan (Perbatasan Jawa Tengah dan Jawa barat), dimana dari penelitian tersebut diperoleh nilai parameter pengendapan $\left(dm/dt\right)$ berkisar antara $2.34 - 61.6\ gr/dt.cm^3$.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

2.1.4. Erosi (*Erotion*)

Peristiwa tergerus atau terangkat naiknya deposit sedimen pada dasar perairan ke dalam kolom perairan menjadi sedimen tersuspensi disebut dengan erosi. Sedangkan kecepatan erosi (E) didefenisikan sebagai jumlah masa sedimen kohesif yang tererosi persatuan waktu.Parameter yang mengkarakteristikan sedimen kohesif dalam peristiwa erosi adalah konstanta M_e.

Konstanta M_e menunjukkan perbandingan kecepatan erosi dengan tegangan geser pada sedimen kohesif dasar.Konstanta ini menunjukkan sifat material sedimen kohesif terhadap kecepatan erosinya.Apabila nilai konstanta tersebut semakin besar, maka semakin mudah bagi material tersebut untuk tererosi.

Tegangan geser kritis erosi (τ_{ce}) merupakan harga maksimum dari tegangan geser dasar sedimen kohesif untuk menahan erosi. Kecepatan erosi itu sendiri sebanding dengan parameter erosi dan parameter tegangan geser yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E = M_e \frac{\tau - \tau_{ce}}{\tau_{ce}} \qquad (2.8)$$

2.2. Mekanisme Transpor Sedimen

Sumber potensial yang dapat mengakibatkan sedimen menjadi penyebab timbulnya kekeruhan maksimum di dalam perairan, diantaranya berasal dari: sungai, laut, erosi garis pantai estuari dan pasut, erosi dasar perairan, produksi biologi dan atmosfir. Pentingnya sumber-sumber ini sifatnya relatif, karena akan bervariasi antara perairan yang satu dengan yang lainnya, dan akan sangat tergantung pada siklus musiman (Dyer, 1986).

2.2.1. Awal Sedimen Dasar Bergerak

Dalam hubungan dengan pemodelan numerik transpor sedimen tersuspensi, adalah penting untuk mengidentifikasi kondisi perpindahan massa partikel sedimen pada lapisan dekat dasar dari muatan tersuspensi. Salah satu permasalahan meliputi penentuan kondisi aliran dimana awal dari sedimen tersuspensi terjadi (Cheng dan Chiew, 1999). Walaupun demikian pentingnya, hanya beberapa penelitian yang berkaitan dapat diperoleh dalam literatur, misalnya Bagnold (1966), Xie (1981), van Rijn, 1984, Summer (1986) dan Celik dan Rodi (1991). Penelitian-penelitian tersebut selalu

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

memberikan hasil yang berbeda dalam menentukan kondisi awal dari suspensi.

Sebelum menganalisis parameter-parameter utama yang mempengaruhi sedimen tersuspensi, menjadi suatu hal penting untuk menentukan kondisi aliran dimana awal suspensi akan terjadi. Bagnold (1966) menyatakan partikel hanya berada dalam keadaan tersuspensi apabila turbulensi eddis (υ'_{up}) memiliki kecepatan vertikal dominan dan melebihi kecepatan jatuh partikel sedimen W_s. Dia membuat hubungan kecepatan ke atas (*upward velocity*) dari turbulensi eddis terhadap kecepatan geser dalam bentuk :

$$\upsilon'_{up} = 1{,}25\, u_* \tag{2.9}$$

selanjutnya untuk kondisi kritis sedimen suspensi ditulis sebagai berikut :

$$\frac{W_s}{u_*} = 1{,}25 \tag{2.10}$$

Persamaan (2.10) berarti bahwa partikel akan berada dalam kondisi suspensi apabila $W_s / u_* \prec 1{,}25$ .Xie (1981) menurunkan kondisi untuk awal sedimen tersuspensi dari persamaan Rouse (1937) untuk distribusi sedimen tersuspensi. Profil dari konsentrasi relatif sedimen tersuspensi tergantung pada parameter Rouse $z = W_s / \kappa u_*$, dimana $\kappa =$ adalah konstanta von Karman (= 0,4 untuk air bersih (*clear water*). Dengan meningkatnya nilai parameter Rouse, profil menjadi meningkat tidak seragam dan jumlah dari sedimen ditransporkan dalam bentuk muatan tersuspensi menurun. Pada $z =$ 5, jumlah dari muatan tersuspensi menjadi sangat kecil, dan Xie mendefenisikan awal dari suspensi terjadi pada kondisi

$$\frac{W_s}{\kappa u_*} = 5 \tag{2.11}$$

Kondisi awal sedimen tersuspensi diidentifikasi oleh van Rijn (1984) bahwa pada saat pergerakan ke atas partikel sedimen telah melompat setinggi 100 kali diamater partikel. Hasil penelitiannya ditampilkan dalam hubungan berikut:

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

$$\frac{u_*}{W_s} = \frac{4}{d_*} \quad \text{untuk} \quad 1 \prec d_* \leq 10 \tag{2.12}$$

$$\frac{u_*}{W_s} = 0{,}4 \quad \text{untuk} \quad d_* \succ 10 \tag{2.13}$$

dimana $d_* = \left(\Delta g / \upsilon^2\right)^{1/3} d$ = diameter partikel tanpa dimensi, $\Delta = \left(\rho_s - \rho\right)/\rho$, ρ_s= densitas partikel, ρ=densitas fluida, g=percepatan gravitasi, υ= viskositas kinemetik fluida, d = diameter partikel.

Sumer (1986) memformulasikan kondisi untuk awal sedimen tersuspensi dari dasar sebagai berikut:

$$\tau_* = \frac{17}{R_*} \quad \text{untuk} \quad R_* \prec 70 \tag{2.14a}$$

$$\tau_* = 0{,}27 \quad \text{untuk} \quad R_* \succ 70 \tag{2.14b}$$

dimana $\tau_* = u_*^2 / \left(\Delta g d\right)$= parameter Shields, dan $R_* = u_* d / \upsilon$ .Celik dan Rodi (1991) menggunakan hubungan empiris berikut untuk menentukan tegangan geser kritis untuk suspensi dari dasar :

$$\tau_* = \frac{0{,}15}{R_*} \quad \text{untuk} \quad R_* \leq 0{,}6 \tag{2.15a}$$

$$\tau_* = 0{,}25 \quad \text{untuk} \quad R_* \succ 0{,}6 \tag{2.15b}$$

Sebelumnya berdasarkan teori klasik yang diusulkan oleh Shields (1936), sedimen bergerak dapat dianalisis berdasarkan analisis dimensi. Berdasarkan teori tersebut, partikel sedimen tidak akan bergerak apabila kecepatan aliran sangat kecil, tetapi apabila kecepatan aliran cukup kuat, gaya penggerak pada partikel sedimen akan melebihi gaya stabilnya, dengan demikian sedimen akan mulai bergerak. Kecepatan ini dikatakan kecepatan aliran kritis.

Gaya-gaya yang bekerja pada partikel sedimen di dasar perairan diperlihatkan dalam Gambar 2.1. Untuk sungai dengan kemiringannya yang relatif kecil dibandingkan dengan gaya-gaya lainya yang bekerja pada butiran sedimen, maka komponen gaya gravitasi dalam arah aliran dapat diabaikan.

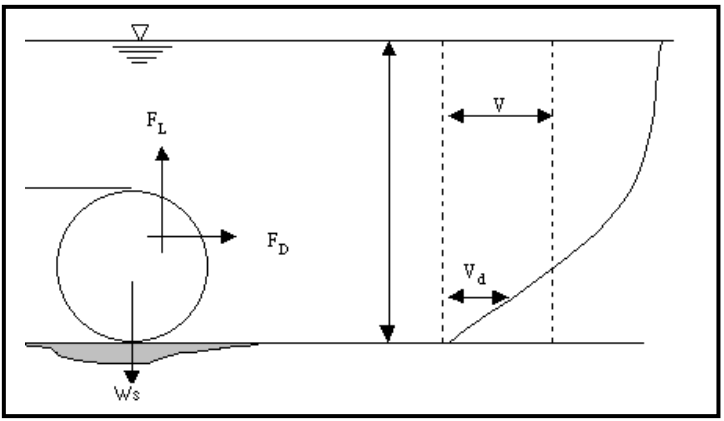
Sebagian besar kriteria mulai bergerak sedimen umumnya diturunkan atas dua pendekatan, masing-masing pendekatan adalah: pendekatan tegangan geser dan kecepatan (Yang, 1996).

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Partikel sedimen berada pada kondisi mulai bergerak apabila salah satu dari kondisi berikut ini terpenuhi :

$$F_L = W_s$$
$$F_D = F_R \qquad (2.16)$$
$$M_o = M_R$$

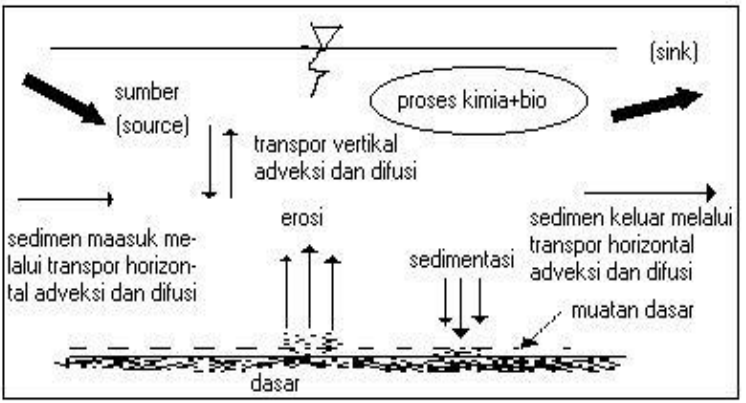
dimana :M_o = moment penggelinding yang disebabkan oleh F_D dan F_R , M_R = momen penahan yang disebabkan oleh F_L dan W_s.



Gambar 2.1. Diagram gaya yang bekerja pada partikel sedimen. dimana : d = diamater partikel, D = kedalaman perairan, F_D = gaya penarik (*drag force*), F_L = gaya pengangkat, W_s = berat di bawah permukaan air (*submerged weight*), dan F_R = gaya penahan (*resistance force*). Sumber : Yang (1996).

Jika gaya eksternal yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang bekerja pada permukaan sedimen cukup kuat, maka material dasar akan tererosi dari dasar laut dan akan tersuspensi atau sedimen yang berada pada lapisan bagian bawah akan naik kelapisan yang bagian atas.Klasifikasi kejadian tersebut dapat ditinjau dari tegangan geser dasar yang ditimbulkan oleh arus. Jika tegangan geser dasar (τ_b) lebih besar dari tegangan kritis erosi (τ_{ce}), maka akan terjadi erosi, dan jika tegangan geser dasar lebih kecil dari tegangan kritis pengendapan (τ_{cd}) maka akan terjadi pengendapan. Sedangkan sedimen akan tetap berada dalam keadaan tersuspensi apabila tegangan geser dasar berada pada kedua nilai tegangan kritis tersebut. Secara ringkas proses umum transpor sedimen dapat diperlihatkan dalam Gambar 2.2.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/



Gambar 2.2. Deskripsi umum proses transpor sedimen.

2.2.2. Transpor Sedimen

Laju transpor sedimen biasanya diekspresikan sebagai produk konsentrasi dan kecepatan fluida (Shibayama dan Winyu, 1993). Umumnya transpor sedimen dikelompokkan atas tiga kelompok yakni: *bed load*, *suspended load* dan *wash load*.*Wash load* terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus. Biasanya *wash load* tidak mewakili komposisi dasar.*Bead load* didefenisikan sebagai transpor sedimen yang mengalami kontak terus menerus dengan dasar selama transpornya (*sliding*, *jumping* atau *rolling*), terjadi di dalam lapisan tipis dekat dasar (lapisan dasar).Sedangkan *suspended load* atau muatan layang, dalam geraknya tidak mengalami kontak yang terus menerus dengan dasar, meliputi gerakan meloncat ke atas dalam aliran (partikel lebih kecil).Kondisi yang demikian aliran fluidanya memiliki kecepatan yang lebih tinggi atau gaya penggerak yang lebih besar (Murphy dan Aguirre, 1985; Fredsoe dan Rolf , 1993).

Selama dalam transpornya, sedimen dapat mengalami pengendapan, hal ini disebabkan oleh pengaruh kecepatan jatuh (W_s) sedimen.Sedimen yang ditransporkan di wilayah pantai biasanya mengandung partikel-partikel kerikil atau pasir sampai partikel berukuran yang biasa diklasifikasikan sebagai lumpur atau lempung.

Gaya luar yang bekerja pada unit massa cairan berdasarkan penyebabnya akan berbeda untuk arus sungai, arus akibat gelombang, serta arus dan gelombang yang berintegrasi secara bersama-sama.Gaya yang merupakan faktor utama pembangkit gerak transpor sedimen adalah arus pasang surut, arus litoral,

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

medan gelombang dan debit sungai. Oleh karena itu dalam mempelajari mekanisme transpor sedimen gaya-gaya penggerak tersebut perlu diperhatikan.

Mekanisme transpor sedimen di perairan pantai (*onshore*) dapat ditinjau dalam dua kelompok berdasarkan faktor yang mempengaruhi kondisi sedimen.Dalam daerah *surf zone*, gaya pembangkit utama dalam proses *string up* material sedimen dan penggerak sedimen adalah medan gelombang pendek secara individu, arus litoral secara individu, atau gelombang dan arus yang bekerja bersamaan.Secara umum di sekitar *breaker line*, orbital gelombang berfungsi mengaduk (mengocok) dasar perairan dan ditransporkan oleh arus litoral.Arus litoral sekecil apapun dapat mentransporkan sedimen yang telah dikocok oleh gelombang.Akan tetapi mekanisme inipun tidaklah hanya terjadi oleh proses demikian saja. Sebenarnya arus litoral pun dapat bersifat mengaduk dasar pantai ataupun oleh orbital dan arus yang berkerja bersamaan. Sedangkan di daerah *wash zone*, pergerakan partikel sedimen disebabkan gelombang *rush up* dan *rush down*.

Pada daerah gelombang pecah, turbulensi akan mengangkat sedimen menjadi tersuspensi dari kedalaman. Perbedaan yang menyolok terjadi dalam profil konsentrasi untuk perbedaan tipe gelombang pecah dan gelombang tidak pecah (Shibayama dan Winyu, 1993).

Lain halnya untuk daerah estuari, dinamika sedimen tersuspensi terutama sekali sangat dipengaruhi oleh pasang surut dan debit sungai.Pada saat pasang air bergerak ke hulu, dan berbalik ke hilir pada saat surut.Demikian juga dengan sedimen suspensi, yang bergerak ke hulu dan ke hilir sesuai dengan pola arah gerakan air. Sedimen akan mengendap saat kecepatan aliran kecil dan akan tererosi saat kecepatan aliran tinggi (Triadmodjo, 1994).Transpor dan deposisi material solid yang dibawa oleh air juga tergantung sebagian besar pada kecepatan jatuh partikel dan floks serta sirkulasi air tempat material berada (Gibbs, 1985).

Pasang surut merupakan komponen penting dari dinamika pantai, yakni sebagai pembangkit dan penggerak penting dari arus dan perpindahan sedimen, serta juga mempengaruhi zonasi dari organisme pantai.Proses pasang surut terutama sekali penting dalam area dimana energi gelombang relatif kecil, seperti lagoon, teluk dan estuari (Viles,H dan Tom Spencer, 1995).

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

2.3. Tegangan Geser Kritis Erosi

Tegangan geser kritis erosi (τ_{ce}) merupakan tegangan geser pada dasar (permukaan sedimen dasar) dimana permukaan sedimen dasar mulai memperlihatkan gejala tererosi.Jadi seperti yang sudah dinyatakan dibagian terdahulu bahwa permukaan dasar perairan mulai tererosi apabila tegangan geser dasar yang ditimbulkan oleh aliran melebihi tegangan geser kritis erosi sedimen dasar tersebut.

Partikel sedimen, gumpalan (*flocs*) atau bongkahan (*lumps*) dipermukaan dasar (termasuk lapisan cairan lumpur) akan tererosi ketika tegangan geser dasar (τ_b) yang ditimbulkan oleh arus dan gelombang melebihi tegangan geser kritis erosi (τ_{ce}), dimana hal ini tergantung kepada karakterisitik material dasar (komposisi mineral, material organik, salinitas, densitas, dll) dan struktur dasar (Van Rijn, 1993). Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa tegangan geser kritis erosi sangat tergantung kepada pengendapan dan riwayat konsolidasinya.Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian diperoleh tegangan geser kritis erosi lebih besar daripada tegangan geser kritis untuk pengendapan penuh (*full deposition*).

2.4. Pemodelan Transpor Sedimen

Metoda numerik untuk pemodelan transpor sedimen menjadi salah satu pilihan metoda yang cukup baik untuk mengkaji proses sedimen di sungai dan pantai. Seiring dengan kemajuan teknologi komputer, saat sekarang telah banyak diterapkan pemodelan transpor sedimen baik untuk domain model yang sederhana maupun domain model yang sesuai lingkungan alaminya.Kemajuan pemodelan transpor sedimen dari waktu-kewaktu terus meningkat.Keberhasilan dari pemodelan ini ditentukan oleh beberapa faktor, diantaranya parameter-parameter, teknik dan metoda yang digunakan.

2.4.1. Parameter Model

Persamaan umum kesetimbangan masa tiga dimensi untuk transpor sedimen tersuspensi dinyatakan sebagai berikut (van Rijn, 1987) :

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

$$\frac{\partial c}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(uc)+\frac{\partial}{\partial y}(vc)+\frac{\partial}{\partial z}((w-w_s)c)$$
$$-\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_{s,x}\frac{\partial c}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_{s,y}\frac{\partial c}{\partial y}\right)-\frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_{s,z}\frac{\partial c}{\partial z}\right)=Sc \quad (2.17)$$

dimana:
c = konsentrasi sedimen tersuspensi,
u,v,w = kecepatan aliran,
w_s = kecepatan jatuh sedimen,
ε = koefisien dispersi,
Sc = suku *source*/*sink*.

Persamaan (2.17) memperlihatkan bahwa beberapa parameter model yang dibutuhkan, yakni dalam bentuk persamaan empiris atau semi-empiris yang berfungsi sebagai nilai masukan dalam model (Teisson, 1984). Parameter-parameter tersebut adalah kecepatan jatuh sedimen, koefisien dispersi dan fluks sedimen di dasar (erosi dan sedimentasi).

Pemodelan transpor sedimen seringkali ditinjau melalui pendekatan perubahan kuantitas sedimen dari suatu lapisan ke lapisan yang berikutnya (Odd & Cooper, 1989; Kusuda & Futawari, 1992). Perubahan massa dari lapisan sebelah atas ke lapisan yang di bawahnya digambarkan melalui persamaan pengendapan dan *entrainment,* sedangkan perubahan sedimen dari lapisan bawah ke lapisan di atasnya dinyatakan oleh persamaan konsolidasi dan erosi. Seluruh persamaan tersebut merupakan dimensi koefisien empiris, hal ini mengindikasikan bahwa sedikit sekali latar belakang fisiknya.Agar memperoleh akurasi yang lebih tinggi, maka koefisien-koefisien model mesti mendekati nilai alaminya. Nilai yang sebenarnya ini hanya akan dapat diperoleh jika dihasilkan dari masing-masing daerah tempat model diterapkan.

2.4.2. Dimensi Pemodelan

Dimensi pemodelan dinamika sedimen di perairan dapat dilakukan dengan beberapa pilihan, sesuai dengan kebutuhan dan kondisi perairan tempat model diterapkan. Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan pemodelan transpor sedimen dalam beberapa tingkatan dimensi, yakni: satu, dua dan tiga dimensi.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Jika hanya guna ingin mengetahui distribusi vertikal konsentrasi suspensi di estuari, dengan memperhitungkan proses erosi dan pengendapan, ataupun untuk melihat distribusi sedimen disepanjang sungai yang tidak terlalu lebar, maka pemodelan transpor sedimen dapat dilakukan dengan satu dimensi vertikal dan horizontal.

Diantara bentuk persamaan pembangun untuk satu dimensi vertikal dan horizontal adalah sebabagai berikut :

$$\frac{\partial c}{\partial t}+\frac{\partial\left(W_s c\right)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) \text{ (vertikal)} \quad (2.18)$$

dan

$$\frac{\partial\left(Ac\right)}{\partial t}+\frac{\partial\left(uAc\right)}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_{s,x} A\frac{\partial c}{\partial x}\right)+Sc \text{ (horizontal)} \quad (2.19)$$

dimana$A$ = luas penampang basah saluran (sungai),

Model dua dimensi transpor sedimen rata-rata terhadap kedalaman telah dikembangkan oleh Hayter dan Mehta (1986), van Rijn (1987), Pathirana, Yu dan Berlamont (1994). Model dua dimensi ini mempunyai kemampuan untuk memprediksi variasi spasial dan temporal konsentrasi sedimen rata-rata kedalaman. Salah satu bentuk persamaan pembangun transpor sedimen dua dimensi horizontal adalah:

$$\frac{\partial c}{\partial t}+u\frac{\partial c}{\partial x}+v\frac{\partial c}{\partial y}=\frac{1}{H}\frac{\partial}{\partial x}\left[H\varepsilon_{s,x}\frac{\partial c}{\partial x}\right]+\frac{1}{H}\frac{\partial}{\partial y}\left[H\varepsilon_{s,y}\frac{\partial c}{\partial y}\right]+Sc \quad (2.20)$$

dimana H = kedalaman perairan

Van Rijn dan Meijer (1991), Van Rijn.,*et.al* (1992) mengembangkan model quasi-3D untuk transpor sedimen tersuspensi. Cahyono (1997), Falconer dan Lin (1997), dan Nocholson dan O'Connor (1986) mengembangkan model 3D penuh yang mensimulasikan transpor sedimen kohesif. Persamaan pembangun yang digunakan dalam pemodelan 3D ini adalah persamaan (2.17)

2.4.3. Teknik Penyelesaian Persamaan Pembangun Model 3D

Penelitian-penelitian terdahulu menyatakan ada dua bentuk metoda yang berkembang untuk menyelesaikan persamaan adveksi difusi tiga dimensi, yakni : a) metoda penuh dan b) metoda

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

pemisahan (*spliting method*).Metoda penuh merupakan metoda yang dalam pengepingan (penyelesaian numerik) persamaan pembangun tiga dimensi sekaligus dikepingkan, sehingga hasil pengepingannya dalam bentuk satu persamaan penuh.

Dalam pengepingan persamaan pembangun, hanya dapat menggunakan satu bentuk pengepingan saja (*finite element, finite different dan finite volume*).Kenyataannya sesuai kebutuhan kadang-kadang diperlukan kombinasi dari beberapa bentuk pengepingan tersebut. Jika terjadi ketidakstabilan dalam model, akan mengalami kesulitan dalam mencari/menelusuri bagian mana yang tidak stabil.

Sedangkan metoda pemisahan adalah suatu metoda penyelesaian persamaan pembangun tiga dimensi yang dipisahkan masing-masing sukunya, yakni (Cahyono, 1997) :

$$\phi_i^{n+2} = \left\{ L_x L_y L_z L_{zz} L_{yy} L_{xx} L_s \middle\| L_s L_{zz} L_{yy} L_{xx} L_z L_y L_x \right\} \phi_i^n \quad (2.21)$$

dimana L_x, L_y dan L_z adalah operator selisih hingga satu dimensi untuk mengepingkan persamaan konveksi murni dalam arah x, y dan z koordinat, dengan masing-masing persamaan dinyatakan oleh :

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u\frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (2.22a)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v\frac{\partial c}{\partial y} = 0 \quad (2.22b)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + w\frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (2.22c)$$

Sedangkan L_{xx}, L_{yy}, dan L_{zz} masing-masing adalah operator selisih hingga satu dimensi untuk memecahkan persamaan difusi murni satu dimensi, yang masing-masing adalah :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\varepsilon_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) \quad (2.23a)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y}\left(\varepsilon_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) \quad (2.23b)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(\varepsilon_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) \quad (2.23c)$$

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

dan L_s adalah operator selisih hingga untuk memecahkan persamaan reaksi murni, yaitu persamaan diferensial biasa yang mengandung suku *source/sink* :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = S \tag{2.24}$$

Metoda pemisahan ini memiliki kelemahan karena mengkonsumsi waktu komputasi cukup banyak. Selain itu, jika terjadi kesalahan pada syarat batas (jika syarat batas diterapkan pada setiap bagian pengepingan sukunya), maka kesalahan tersebut akan berulang sebanyak suku-suku yang ada.

2.5. Koprostanol (5β-cholestan-3β-ol)

Peningkatan aktifitas manusia di wilayah sekitar dan perairan estuari mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan terhadap lingkungan estuari.Meningkatnya volume limbah industri yang bersifat toksit dan bersuhu tinggi, dan menurunnnya kandungan oksigen terlarut di perairan merupakan contoh tekanan lingkungan yang terjadi.Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan oleh aktifitas manusia di perairan pantai dan sekitarnya dibutuhkan suatu indikator.

Penggunaan bioindikator (mikroorganisme) sebagai indikator adanya kontaminasi limbah domestik di estuari merupakan salah satu indikator yang sering dan umum digunakan.Bioindikator memimiliki kelemahan, terutama sekali disebabkan oleh pengaruh perubahan salinitas perairan yang dapat menyebabkan kematian organisme tersebut (Walker *et al*., 1982).

Oleh karena itu, disebabkan penggunaan organisme yang selama ini umum dipakai sebagai indikator adanya kontaminasi limbah domestik memiliki beberapa kelemahan, sehingga diperlukan alternatif lain yang dapat digunakan sebagai indikator. Beberapa peneliti telah menyarankan penggunaan koprostanol sebagai indikator lingkungan perairan.

Koprostanol adalah vecal sterol yang merupakan derifatif kolesterol dan merupakan sterol yang dominan pada human faces, dihasilkan oleh hewan mamalia dan tetapi tidak dihasilkan oleh biota laut dan ungas kecuali ayam.

Hasil penelitian Bachtiar (2002) di perairan pantai Semarang menyatakan bahwa koprostanol baik sebagai indikator kontaminasi limbah domestik, hal ini karena koprostanol: 1) mempunyai

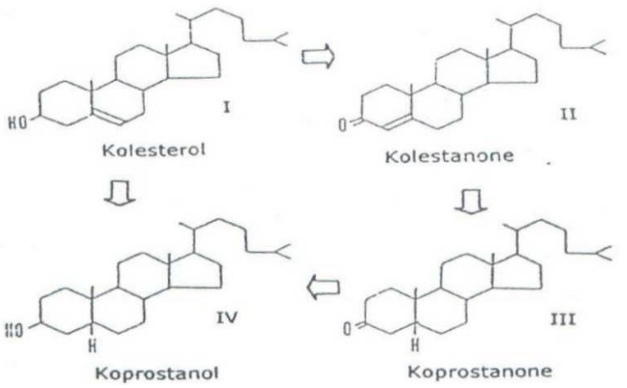
Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

eksistensi yang baik di alam, 2) dapat terdeteksi secara kualitatif, 3) mempunyai persistensi yang baik di alam,4) berpotensi dapat memberikan informasi tendensi historis pencemaran limbah domestik pada suatu daerah.

2.5.1. Pembentukan Koprostanol

Pertengahan tahun 1800 M pertama sekali dilakukan pengamatan terhadap koprostanol, yakni dengan mendapatkan zat *excretine*, yang merupakan hasil dari kristalisasi ekstrak alkohol pada feses manusia.Berdasarkan data titik leleh (*melting point*) dan solubility diketahui bahwa zat tersebut mengandung koprostanol.Lebih lanjut koprostanol diisolasi dan diteliti karakteristiknya pertama sekali dilakukan pada tahun 1896 oleh Bondzynski dan Humnicki.Dimana mereka menemukan bahwa koprostanol merupakan hasil reduksi kolesterol oleh bakteria (Walker *et al*.,1982 dalam Bachtiar 2002).

Koprostanol dapat dihasilkan melalui hidrogenisasi mikroba dari ikatan rangkap antara karbon 5 dan 6 dalam kolesterol (Gambar 2.3, I ke IV). Hidrogenisasi pada titik ini dapat memberikan kenaikan dua *stereo isomers* dalam posisi 5, koprostanol (5β-cholestan-3β-ol), dan kolestanol (5β-cholestan-3β-01) (Sherblom*et al*., 1994).



Gambar 2.3. Alur pembentukan koprostanol (Walker *et al*., 1982)

Walker *et al*. (1982) menyatakan bahwa secara biosintesis terdapat dua alur pembentukan koprostanol (Gambar 2.3). Alur pertama merupakan akibat dari proses hidrogenisasi stereospesifik pada ikatan rangkap 5, 6 pada kolesterol (I → IV), seperti yang

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

juga telah dinyatakan oleh Sherblom *et al*. (1994) di atas. Sedangkan alur kedua diawali dengan adanya konversi dari kelesterol menjadi kolestanone (I → II). Penurunan dari kolestenone akan membentuk koprostanone (II → III). Koprostanone ini yang kemudian penurunannya membentuk koprostanol (III → IV).

2.5.2. Koprostanol Sebagai Indikator Limbah Domestik

Dalam lingkungan estuari yang kompleks, rangkaian kestabilan sterol dapat digunakan untuk mengidentifikasi proses biologi *in situ*. Koprostanol merupakan fecal sterol dalam buangan manusia (40% - 60% dari total fecal sterol).Limbah domestik yang belum diolah merupakan sumber utama dari sterol ini, penentuannya merupakan pengukuran yang efektif tentang tingkat kontaminasi limbah domestik.Koprostanol juga dapat memberikan sebuah biomarker untuk penelitian jangka panjang dari limbah domestik, yaitu dalam bentuk gabungannya dengan koloid organik, misalnya tergabung ke dalam sedimen. Dalam kondisi *anoxic*, koprostanol akan persisten dan pengurangan konsentrasinya akan lebih besar disebabkan adanya transpor fisika. Ini berarti bahwa debit limbah domestik yang terus menerus atau sesaat dapat dirunut dalam sedimen. (Reeves dan Patton, 2004).

Beberapa hasil penelitian juga menyatakan bahwa koprostanol sebagai persentase dari total sterol dapat digunakan sebagai gambaran kadar kontaminasi fecal (Hatcher dan MicGillivary, 1979 dalam Hyun *et al*., 2002; Maldonado *et al.,* 2000, dalam Hyun *et al*., 2002). Berdasarkan signifikansi korelasi positif antara total sterol dan kandungan organik karbon dalam sedimen, persentase koprostanol terhadap organik karbon juga merefleksikan tingkatan kontaminasi limbah dalam sedimen (Hatcher dan MicGillivary, 1979 dalam Hyun *et al*., 2002). Peningkatan kontaminasi fekal ada kaitannya dengan peningkatan aktivitas manusia di darat (Maldonado *et al.,* 2000 dalam Hyun. *et al*., 2002).

Karena koprostanol tidak diproduksi dalam lingkungan laut, tetapi terdiri 50% sampai 80% dari *fecal sterols* manusia (Brown dan Wade, 1984) sehingga hal ini juga merupakan faktor baiknya koprostanol digunakan sebagai indikator buangan limbah domestik di lingkungan perairan laut.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Koprostanol adalah zat kimia yang dihasilkan pada waktu proses pencernaan berlangsung dan merupakan dekomposisi kolestrol, merupakan indikator yang baik untuk buangan limbah domestik yang belum diolah. Berbeda dengan bakteri fecal coliform yang relatif pendek waktu hidupnya di dalam lingkungan perairan, koprostanol memiliki kelebihan, yakni akumulasinya dalam sedimen memberikan pencatatan waktu pajang dari limbah domestik (Kruczynski, 1999).

Keberadaan *fecal sterol* koprostanol (5β-cholestan-3β-ol) di lingkungan perairan telah juga telah memperlihatkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah demestik (Hatcher *et al*., 1977; Hatcher dan McGilivary, 1979; Brown dan Wade, 1984; Dureth *et al*., 1986; Holm dan Windsor, 1990; Coakley dan Poulton, 1991; Coakley *et al*., 1992; Bachtiar, 1993; Bachtiar *et al*., 1996; Jeng dan Han 1996; Jeng *et al*., 1996; dan Chan *et al*., 1998 dalam Bachtiar, 2002; Poon *et al*., 2000).

Lefkovitz *et al.* (2000) menyatakan bahwa koprostanol merupakan sterol dan didapatkan dalam feses manusia dapat digunakan sebagai indikator material organik yang berasal dari limbah domestik. Koprostanol bermanfaat sebagai perunut, sebab konsentrasinya biasanya tidak dipengaruhi oleh khlorinisasi dan aerasi, dan juga persisten dalam sedimen.

Dureth *et al.* (1986) dalam Bachtiar (2002) meneliti tentang perunut pencemaran feses dengan menggunakan koprostanol dan intestinal bakteri di danau Fannish yang menerima limbah industri dan domestik.Mereka mendapatkan bahwa koprostanol terutama berasosiasi dengan sedimen tersuspensi, dan hilangnya koprostanol di kolom air terutama akibat sedimentasi selama terdistribusi.

Pada beberapa titik pengambilan sampel sedimen di perairan pantai Semarang dan sekitarnya yang dilakukan pada tahun 1997 dan 1998, dalam kedua tenggang waktu tersebut hampir di seluruh sampel sedimen terdapat kandungan koprostanol (Bachtiar,2002). Hasil lengkap analisis kandungan koprostanol pada pengamatan tersebut ditampilkan dalam Tabel 2.2.

Berdasarkan hasil penelitian Bachtiar (2002), pada bulan Juli di Banjir Kanal Timur tantang koprostanol pada sampel sedimen diperoleh koprostanol di : a) sungai (15,05 - 21,70 μg/gram), b) muara (1,15 μg/gram) dan c) laut (12,71 μg/gram). Mengacu pada data-data temuan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

koprostanol berasal dari Banjir Kanal Timur, karena konsentrasi koprostanol yang tinggi berada di Sungai.

Koprostanol mengalami biodegradasi secara intensif di daerah penelitian (Banjir Kanal Timur dan perairan Pantai Semarang) oleh bateri *Pseudomonas cepacia, Pseudomonas maltophilia, Pseudomonas paucimimobilis,* dan *Tatumella ptyseos*. Namun demikian, pada konsentrasi koprostanol < 8,11 mg/l, koprostanol akan terdegradasi dengan sangat lambat, sehingga berpeluang terakumulasi di sedimen dasar perairan, dan berpotensi terdeteksi sebagai indikator kontaminasi limbah domestik. Koprostanol yang terdeteksi pada sampel sedimen tertinggi ditemukan di daerah penelitian hanya 21,70µg/gram, yakni di sungai (Bachtiar, 2002). Hasil penelitian tersebut juga didukung oleh penelitian lain, yang menyatakan bahwa tidak ada biodegradasi koprostanol dalam sedimen laut (Nishimura & Koyama, 1977).

Tabel 2.2. Hasil analisis konsentrasi koprostanol sampel sedimen permukaan dasar perairan Banjir Kanal Timur Semarang.

No.	Nomor Sampel	Mean (M_z)	Median (P_{50})	Sd (σ)	Skewness (S_{KI})	Kurtosis (K_G)	Klasifikasi Sedimen (Wentworth 1922)
1	S-1	7,00	8,10	3,50	-0,41	0,55	Debu halus
2	S-2	8,35	9,30	2,48	-0,52	0,73	Lempung kasar
3	S-3	7,20	8,70	3,44	-0,57	0,62	Debu sangat halus
4	S-4	6,17	5,40	3,23	0,28	0,54	Debu halus
5	S-5	3,74	5,74	2,29	0,66	2,04	Pasir sangat halus
6	S-6	9,48	10,20	1,80	-0,72	1,27	Lempung sedang
7	S-7	9,70	10,20	1,51	-0,65	1,41	Lempung sedang
8	S-8	9,65	10,20	1,52	-0,67	1,41	Lempung sedang
9	S-9	7,77	8,80	2,60	-0,48	1,44	Debu sangat halus
10	S-10	9,65	10,20	1,73	-0,70	1,57	Lempung sedang
11	S-11	8,88	10,00	2,01	-0,71	0,68	Lempung kasar
12	S-12	9,65	10,20	1,77	-0,70	1,53	Lempung sedang
13	S-13	8,67	9,20	2,03	-0,38	0.,95	Lempung sedang
14	S-14	9,72	10,25	1,49	-0,68	1,53	Lempung sedang
15	S-15	9,82	10,25	1,30	-0,63	1,41	Lempung kasar
16	S-16	9,42	10,25	1,91	-0,75	1,51	Lempung sedang
17	S-17	8,75	9,25	2,02	-0,42	1,19	Lempung kasar
18	S-18	9,37	10,30	1,81	-0,76	1,56	Lempung sedang
19	S-19	8,32	9,50	2,61	-0,61	0,61	Lempung kasar
20	S-20	9,00	10,25	2,46	-0,82	1,64	Lempung kasar
21	S-21	9,58	10,30	1,66	-0,75	1,51	Lempung sedang
22	S-22	8,78	10,20	2,84	-0,83	1,34	Lempung kasar

Sumber : Bachtiar (2002).

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

2.6. Penyerapan (*Adsorption*) Koprostanol di Sedimen

Jerapan senyawa organik di permukaan partikel dipengaruhi tingkah laku senyawa organik dalam lingkungan (Hedges dan Keil, 1999).Jerapan mempengaruhi transpor dari senyawa organik alam dan polutan melalui tanah dan sungai (Schwarzenbach *et at*., 1993) dan reaktivitas senyawa organik alam dalam tanah dan sistem sedimentasi (Alexander dan Scow, 1989; Keil *et al*., 1994).

Senyawa-senyawa organik diketahui sebagai bahan yang dapat terjerap oleh sedimen, jerapan tersebut terjadi dapat secara langsung atau tidak langsung. Dalam hal ini Gaya van der Waals merupakan gaya yang besar pengaruhnya terhadap peristiwa ini. Efektifitas gaya van der Waals ini sangat ditentukan oleh ukuran nisbi senyawa organik, dimana senyawa organik yang tidak bermuatan harus berukuran nisbi besar atau berantai panjang (Theng, 1974). Peningkatan penjerapan dengan rantai yang lebih panjang diakibatkan oleh adanya gaya van der Waals yang menjadi lebih efektif dengan meningkatnya ukuran molekul (Tan, 1998).

Interaksi van der Waals merupakan interaksi jarak pendek, kumpulan *additive*, dan hanya menjadi berarti pada daya ionik yang tinggi atau ketika sistem memenuhi *dehydrate* (Rashid *et al.*, 1972; Preston dan Riley, 1982). Interaksi van der Waals potensial penting dalam air laut sebab pada daya ionik tinggi ketebalan lapisan-ganda meningkat, cenderung berkurang dalam gaya tolak elektrostatik antara muatan negatif polimer organik dan muatan negatif permukaan lumpur. Ini memberikan pendekatan yang lebih dekat dari polimer organik ke permukaan, dan sehingga meningkatkan ikatan van der Waals.

Limbah domestik pada umumya didominasi oleh material organik yang saat masuk ke perairan sebagian dapat terlarut dan sebagian lainnya tidak terlarut.Walker *et al.* (1982) menyatakan bahwa koprostanol merupakan bagian padatan material organik limbah domestik yang tidak terlarut dalam air. Dalam bentuk koloid, koprostanol berpotensi sebagai koloid hidrofobik yang memiliki sifat dapat berflokulasi. Saat proses flokulasi koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada sedimen lempung (*clay*) yang juga merupakan koloid hidrofobik. Koloid koprostanol yang telah terflokulasi dengan koloid lempung, kemudian mengalami transpor bersama sedimen lempung oleh adanya pola arus (Bachtiar, 2002).Reeves and Patton (2003) menyatakan bahwa keberadaan koprostanol dalam suatu

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

perairan sangat dipengaruhi oleh fisika transpornya (*physical transport*).

Hacther & McGillivary (1979) dalam hasil penelitiannya di sedimen laut memperlihatkan adanya indikasi besar proporsi dari *fecal sterols, coprostanol* dan *cholesterol*, berasosiasi dengan *particulates* dan sedimen.

Persamaan Freundlich secara empiris memberikan jumlah konsentrasi terjerap linier sebagai berikut (Yaron *et al.,* 1996) :

$$C_s = k\, C_w, \qquad (2.25a)$$

dimana: C_s = jumlah konsentrasi terjerap, k = konstanta empiris,dan C_w = konsentrasi larutan ekuilibrium. Sedangkan untuk jarapan tidak linier adalah :

$$C_s = k\, C_w^{1/n}, \qquad (2.25b)$$

dimana : n = konstanta empiris jerapan tidak linier. Nilai 1/n biasanya antara 0,2 dan 0,7 (Kruyt, 1944 dalam Tan, 1998).

Faktor lain yang juga dapat menggambarkan peristiwa jerapan adalah koefisien perbandingan octanol/air (K_{ow}) yang berhubungan dengan daya larut bahan kimia dalam air. Bahan kimia yang kurang dapat larut dalam air, lebih mungkin tersorbsi dipermukaan sedimen atau partikel tersuspensi. Jika koefisien perbandingan octanol/air tidak dapat diukur dengan hasil yang baik atau tidak tersedia databasenya, maka koefisien tersebut dapat ditentukan dari daya larut (*solubility*) dan berat molekul dalam bentuk persamaan (Schnoor, 1996):

$$\log S = -1{,}08 \log K_{ow} + 3{,}70 + \log MW \qquad (2.26)$$

dimana MW adalah berat molekul dari pencemar ($g\ mol^{-1}$), S adalah unit ppm organik.

Koefisien perbandingan octanol/air adalah tanpa dimensi, diturunkan dari pemisahan antara yang terjadi dalam ekstraksi antara kimia dalam octanol dan air.

$$K_{ow} = \frac{mg\ kimia/L\ octanol}{mg\ kimia / L\ air} \qquad (2.27)$$

Octanol dipilih sebagai acuan karena model larutannya dengan beberapa sifat yang membuatnya mirip dengan material organik dan lipid di alam.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

2.7. Perunut Radioaktif dan Sebaran Sedimen

Perunut radioaktif dapat digunakan untuk beberapa peruntukan, diantaranya untuk mempelajari pola penyebaran sedimen dan dapat juga digunakan sebagai salah satu metoda kalibrasi pengukuran sedimen dengan sedimen trap *in situ* (Bacon,1996).

Ide penggunaan artifisial perunut untuk mendefenisikan laju transpor sedimen muncul dalam tahun 1955, sejak itu metoda ini penggunaannya meluas ke pantai, estuari dan area benua sebelah dalam. Beberapa variasi metoda yang digunakan adalah: metoda integrasi ruang (SIM), metoda integrasi waktu (TIM) dan metoda injeksi secara terus-menerus (CIM), (Shu, 2000).

Penggunaan perunut radioaktif dalam mempelajari transpor sedimen digunakan oleh Courtois dan Sauzay pada tahun 1966 dengan menggunakan isotop ^{46}Sc, sejak itu penggunaan perunut radioaktif semakin berkembang seiring dengan kemajuan alat deteksi radiasi dan teknik preparasi material perunut (Supriatna, 1999).

2.7.1. Keradioaktifan

Keradioaktifan merupakan suatu gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai dengan radiasi berupa partikel dan atau gelombang elektromagnetik. Peristiwa perubahan suatu inti atom menjadi inti atom yang lain ini disebut sebagai peluruhan radioaktif, sedangkan atom yang tidak stabil dan berubah menjadi inti lain dinamakan radioisotop. Gejala keradioaktifan ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dapat dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat dengan merubah kondisi di luar inti atom seperti suhu, tekanan, reaksi kimia dan sebagainya (Supriatna, 1999).

Laju peluruhan radioaktif suatu inti atom berdasarkan pada perumusan matematis kinetika orde satu berikut :

$$\frac{\partial N_t}{\partial t} = -\lambda N_t \qquad (2.28a)$$

dimana : N_t : jumlah atom pada waktu t

λ : konstanta peluruhan radioaktif.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/

Melalui integrasi persamaan (2.28a) di atas, maka akan diperoleh suatu bentuk hubungan eksponensial jumlah atom pada suatu waktu, yakni :

$$N_t = N_o e^{-\lambda t} \qquad (2.28b)$$

Laju peluruhan suatu radioisotop biasanya dinyatakan sebagai karakteristik oleh suatu konstanta yang disebut dengan waktu paro $(t_{1/2})$. Waktu paro suatu radioisotop adalah waktu yang dibutuhkan agar jumlah atom radioisotop tersebut berkurang menjadi setengahnya. Dengan demikian, pada waktu t = $t_{1/2}$, persamaan (2.28b) menjadi sebagai berikut (Supriatna, 1999):

$$t_{1/2} = \frac{\ln .2}{\lambda} \qquad (2.29)$$

2.7.2. Perunut Radioaktif Untuk Studi Penyebaran Sedimen

Studi pergerakan dan distribusi sedimen menggunakan perunut alami, studi pergerakan dan distribusi sedimen menggunakan perunut buatan (*artificial*) dan studi pergerakan dan distribusi sedimen menggunakan model matematis.Dalam buku ini (hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Supriatna,1999) digunakan sebagai pembanding model numerik.

Pengertian perunut radioaktif dalam mempelajari pergerakan sedimen adalah sedimen yang diberi label yang diharapkan dapat memberikan gambaran pergerakan sedimen. Sedimen yang digunakan sebagai perunut harus memiliki sifat fisika yang sama dengan sedimen yang yang akan dimodelkan.

Repository University Of Riau
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS RIAU
http://repository.unri.ac.id/