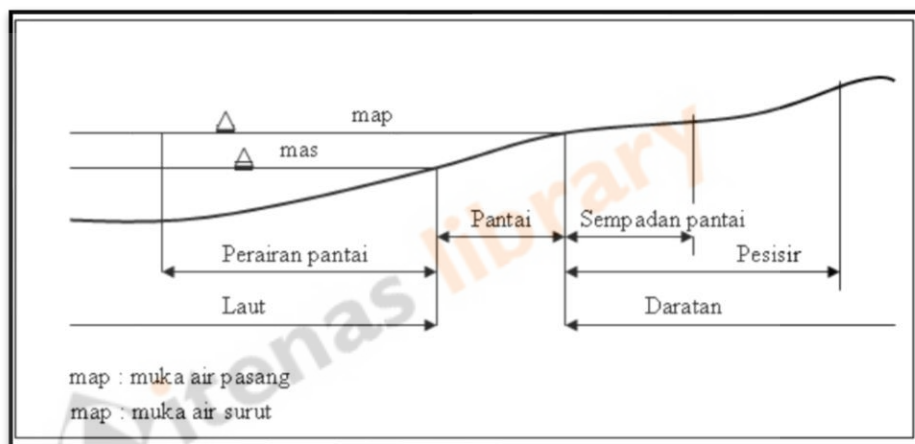


BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pantai

Pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*) merupakan dua istilah mengenai pantai. Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut, sedangkan pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah (Triatmodjo, 1999). Definisi dari pantai dapat lebih jelas digambarkan dalam **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Definisi dan Batasan Pantai

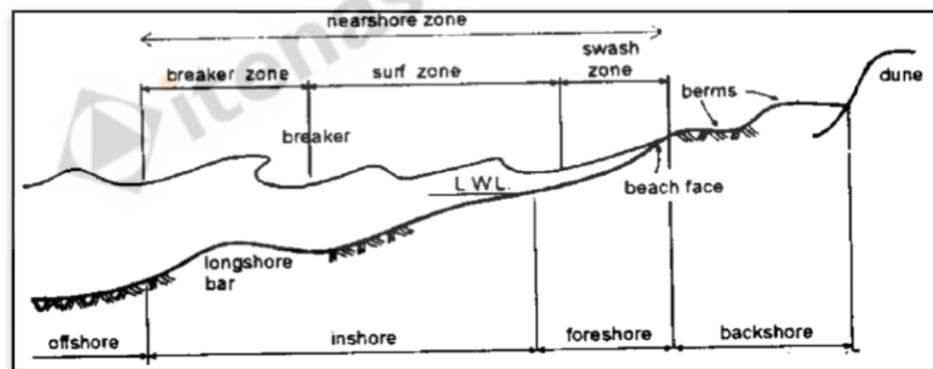
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Pada **Gambar 2.1** menunjukkan bahwa garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut, dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah karena dipengaruhi oleh kondisi pasang surut air laut dan erosi. Sedangkan sempadan pantai adalah suatu kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat dalam menjaga fungsi pantai.

Garis pantai merupakan batas pertemuan antara daratan dengan bagian laut saat terjadi air laut pasang tertinggi. Pada dasarnya proses perubahan pantai meliputi proses erosi dan sedimentasi. Erosi pada sekitar pantai dapat terjadi apabila angkutan sedimen yang keluar ataupun yang pindah meninggalkan suatu

daerah lebih besar dibandingkan dengan angkutan sedimen yang masuk, apabila terjadi sebaliknya maka yang terjadi adalah sedimentasi. Pengikisan yang terjadi di daerah pantai akan menyebabkan berkurangnya areal daratan, sehingga menyebabkan berubahnya garis pantai.

Berdasarkan karakteristik gelombang di daerah sekitar pantai, menurut Triatmodjo (1999) pada saat perbandingan tinggi gelombang dan panjang gelombang mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah. Karakteristik gelombang yang sudah pecah berbeda dengan yang belum pecah. Gelombang pecah merambat ke arah pantai sampai akhirnya gelombang bergerak naik dan turun pada permukaan pantai atau yang dikenal dengan *uprush* dan *downrush*. Garis gelombang pecah merupakan batas perubahan perilaku gelombang dan juga transpor sedimen pantai (Triatmodjo, 1999). Daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut disebut *offshore*, sedangkan daerah dari garis gelombang pecah ke arah pantai dibagi menjadi tiga daerah, yaitu *breaker zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Penjelasan lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Batasan Pantai Berdasarkan Karakteristik Gelombang

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Penjelasan dari beberapa uraian di atas diberikan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999).

- a. *Inshore* (daerah pantai dalam) adalah daerah profil pantai yang terbentang ke arah laut batas daerah depan pantai (*foreshore*) sampai ke bawah *breaker zone*.

- b. *Foreshore* (daerah depan pantai) adalah daerah yang meliputi garis pantai, daerah *swash* sampai dengan bagian yang tidak terlalu jauh dari garis pantai.
- c. *Backshore* (daerah belakang pantai) adalah daerah yang dibatasi oleh garis pantai ke arah daratan.
- d. *Offshore* (daerah lepas pantai) adalah daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut.
- e. *Breaker zone* (daerah gelombang pecah) adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidakstabilan dan akhirnya pecah. Di pantai yang landai gelombang pecah bisa terjadi dua kali.
- f. *Surf zone* (daerah buih) adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai mempunyai *surf zone* yang lebar.
- g. *Swash zone* (daerah *swash*) adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.
- h. *Longshore bar* (gundukan sepanjang pantai) adalah tumpukan pasir yang paralel terhadap garis pantai. Tumpukan pasir tersebut dapat muncul pada saat air surut, pada saat lain dapat menjadi barisan tumpukan pasir yang sejajar pantai dengan kedalaman yang berbeda.

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh gelombang yang datang, sifat-sifat sedimen, kondisi gelombang dan arus, serta batimetri pantai. Bentuk pantai terbagi menjadi dua bentuk yaitu pantai berpasir dan pantai berlumpur (Triatmodjo, 1999).

a. Pantai berpasir

Pantai berpasir memiliki kemiringan berkisar 1:20 sampai dengan 1:50. Pada kondisi tidak badai atau pada saat gelombang biasa, pantai tidak mengalami erosi namun pada saat kondisi badai atau saat kondisi gelombang besar, pantai bisa mengalami erosi karena gelombang besar dan angin.

b. Pantai berlumpur

Pantai berlumpur terjadi pada daerah yang terdapat banyak sungai yang membawa sedimen dalam jumlah besar ke laut. Pantai berlumpur mempunyai kemiringan yang sangat kecil mencapai 1:5000 dan kondisi gelombang di pantai tersebut relatif tenang. Kondisi tersebut menyebabkan sedimen tidak terbawa ke laut lepas.

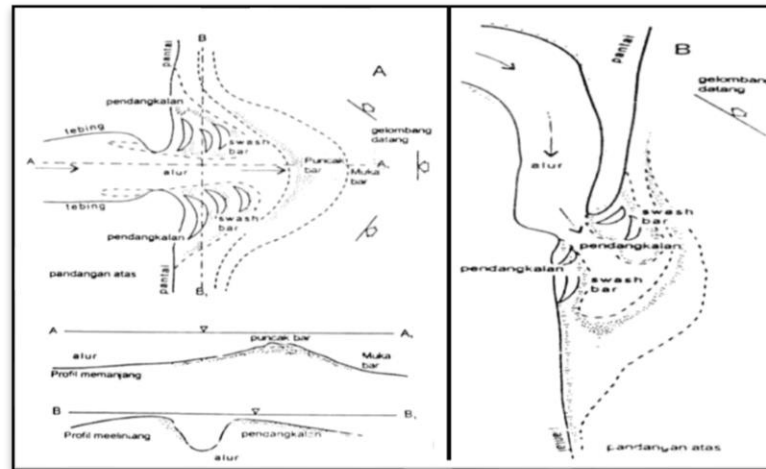
Bagian pantai yang berbentuk garis dan menjadi arah batas antara laut dan darat secara jelas disebut sebagai garis pantai. Keberadaan garis pantai selalu mengalami perubahan secara kontinu. Pada pantai yang berhadapan langsung dengan arah datang gelombang dan arus pantai selalu mengalami abrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pantai yang letaknya sejajar atau searah dengan arah datangnya gelombang.

2.2 Muara Sungai

Menurut Triatmodjo (1999) muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Pada muara sungai terdapat mulut sungai, yaitu bagian paling hilir muara sungai yang langsung bertemu dengan laut. Bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut adalah estuari. Muara sungai berfungsi sebagai pengeluaran/pembuangan debit sungai, terutama pada waktu banjir ke laut. Menurut Yuwono (1994) dalam Triatmodjo (1999) muara sungai dapat dibedakan menjadi tiga kelompok, yang tergantung faktor dominan yang mempengaruhinya yaitu, gelombang, debit sungai, dan pasang surut.

a. Muara yang didominasi gelombang laut

Gelombang pasir yang besar pada pantai berpasir dapat menimbulkan angkutan sedimen, baik dalam arah tegak lurus maupun sejajar pantai. Angkutan sedimen sejajar pantai lebih dominan dibandingkan dengan tegak lurus pantai. Pola angkutan sedimen tersebut disajikan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Pola Angkutan Sedimen Berdasarkan Arah Gelombang

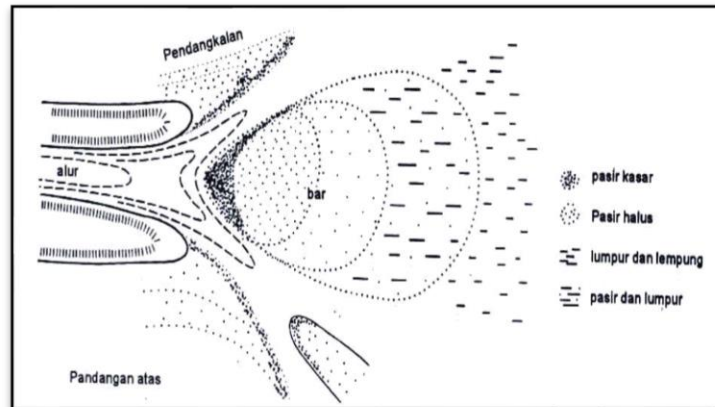
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa gambar A merupakan pola angkutan sedimen akibat arah gelombang tegak lurus muara sungai dan gambar B merupakan pola angkutan sedimen akibat arah gelombang sejajar muara.

b. Muara yang didominasi debit sungai

Muara ini terjadi pada sungai dengan debit sepanjang tahun cukup besar yang bermuara di laut dengan gelombang relatif kecil. Sungai tersebut membawa angkutan sedimen yang cukup besar dari hulu. Sedimen yang sampai di muara sungai merupakan sedimen dengan diameter partikel yang sangat kecil. Saat kondisi air surut, sedimen akan terdorong ke muara dan tersebar di laut, sedangkan saat air pasang, kecepatan aliran bertambah besar dan sebagian sedimen dari laut masuk kembali ke sungai bertemu dengan sedimen yang berasal dari hulu. Pola sedimentasi akibat debit sungai disajikan pada

Gambar 2.4.

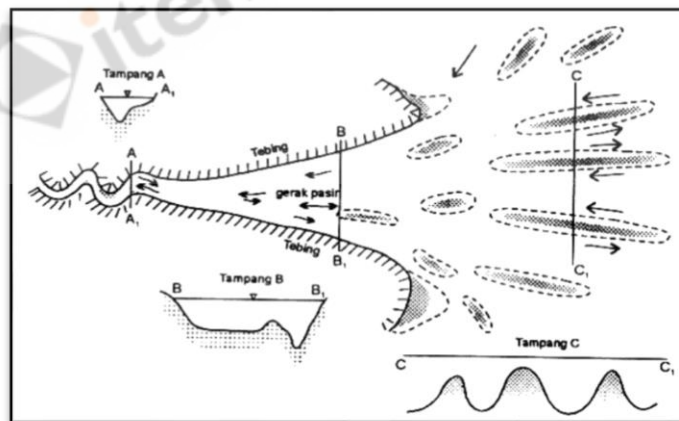


Gambar 2.4 Pola Sedimentasi Muara Sungai Akibat Debit Sungai

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

c. Muara yang didominasi pasang surut

Pada saat kondisi pasang yang tinggi, volume air yang masuk ke sungai sangat besar. Air tersebut akan terakumulasi dengan air dari hulu sungai. Pada saat kondisi surut, volume air yang sangat besar tersebut mengalir keluar dalam periode waktu tertentu tergantung tipe pasang surutnya. Pola sedimentasi yang didominasi oleh pasang surut disajikan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Pola Sedimentasi Muara Sungai Akibat Pasang Surut

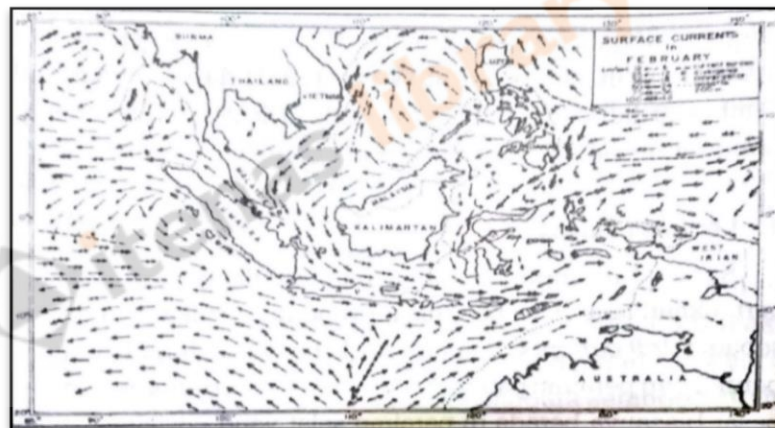
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.3 Arus

Arus laut adalah suatu pergerakan massa air secara vertikal serta horizontal sehingga menuju suatu keseimbangannya dengan wilayah yang sangat luas. Arus dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu perbedaan permukaan air laut, angin,

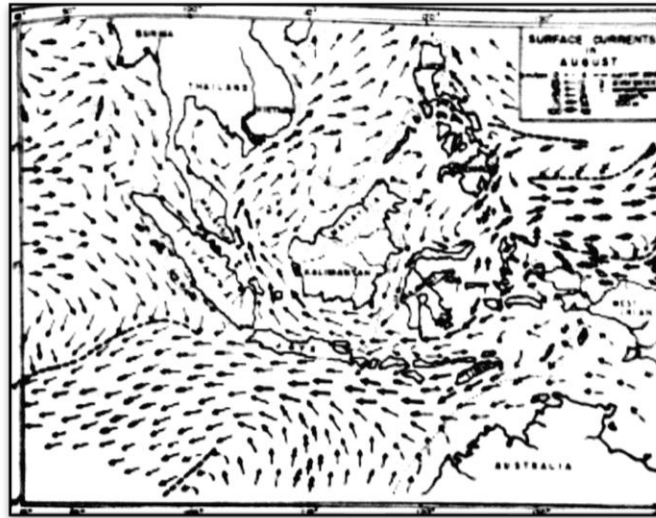
perbedaan temperatur, perbedaan salinitas dan kepadatan air, pasang surut, dan bentuk pantai. Arus salah satunya dipengaruhi oleh angin. Menurut Wibisono (2005) arus laut adalah gerakan massa air laut ke arah horizontal dalam skala besar. Salah satu faktor yang mempengaruhi timbulnya arus adalah tiupan angin musim. Indonesia dikenal mempunyai empat musim, yaitu musim barat, musim peralihan barat ke timur, musim timur, dan musim peralihan timur ke barat.

Angin musim barat terjadi selama periode antara bulan Desember-Februari. Angin musim peralihan barat ke timur terjadi selama periode antara bulan Maret-Mei. Angin musim timur terjadi selama periode antara bulan Juni-Agustus. Sedangkan angin musim peralihan timur ke barat terjadi selama periode antara bulan September-November. Pola arus umum di perairan Indonesia yang dipengaruhi musim disajikan pada **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7**.



Gambar 2.6 Pola Arus Permukaan Perairan Indonesia dan Sekitarnya Selama Musim Barat

(Wirtky, 1961 dalam Wibisono, 2005)



Gambar 2.7 Pola Arus Permukaan Perairan Indonesia dan Sekitarnya Selama Musim Timur

(Wirtky, 1961 dalam Wibisono, 2005)

Arus laut merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dikarenakan tiupan angin atau perbedaan densitas atau pergerakan gelombang panjang (Nontji, 1987). Menurut Sahala Hutabarat, selain angin, arus dipengaruhi oleh paling tidak tiga faktor yaitu:

1. Bentuk topografi dasar lautan dan pulau-pulau yang ada di sekitarnya. Beberapa sistem lautan utama di dunia dibatasi oleh massa daratan dari tiga sisi dan pula oleh arus *equatorial counter* di sisi yang keempat. Batas-batas ini menghasilkan sistem aliran yang hampir tertutup dan cenderung membuat aliran mengarah dalam suatu bentuk bulatan.
2. Gaya Coriolis dan arus Ekman. Gaya Coriolis memengaruhi aliran masa air, di mana gaya ini akan membelokkan arah mereka dari arah yang lurus. Gaya Coriolis jugs menyebabkan timbulnya perubahan-perubahan arah arus yang kompleks susunannya yang terjadi sesuai dengan semakin dalamnya kedalaman suatu perairan.
3. Perbedaan densitas serta *upwelling* dan *sinking*. Perbedaan densitas menyebabkan timbulnya aliran massa air dari laut yang dalam di daerah kutub selatan dan kutub utara ke arah daerah tropik.

Adapun jenis-jenis arus dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Berdasarkan penyebab terjadinya
 - a. Arus Ekman: Arus yang dipengaruhi oleh angin.
 - b. Arus Termohaline: Arus yang dipengaruhi oleh densitas dan gravitasi.
 - c. Arus Pasut: Arus yang dipengaruhi oleh Pasang surut.
 - d. Arus Geostropik: Arus yang dipengaruhi oleh gradient tekanan mendatar dan gaya Coriolis.
 - e. *Wind Driven Current*: Arus yang dipengaruhi oleh pola pergerakan angin dan terjadi pada lapisan permukaan.
2. Berdasarkan Kedalaman
 - a. Arus Permukaan: Terjadi pada beberapa ratus meter dari permukaan, bergerak dengan arah horizontal dan dipengaruhi oleh pola sebaran angin.
 - b. Arus Dalam : Terjadi jauh di dasar kolom perairan, arah pergerakannya tidak dipengaruhi oleh pola sebaran angin dan membawa massa air dari daerah kutub ke daerah ekuator.

2.4 Hidrodinamika

Hidrodinamika adalah ilmu yang mempelajari gerak fluida cair. Maka hidrodinamika bisa didefinisikan sebagai ilmu untuk memahami dan juga mengetahui kejadian atau fenomena fisis kelautan dan daerah pantai, kejadian yang dimaksud seperti arus, pasang surut dan gelombang. Hidrodinamika ini merupakan aspek yang sangat penting dan berpengaruh terhadap proses-proses yang terjadi di lautan, pantai, dan pesisir.

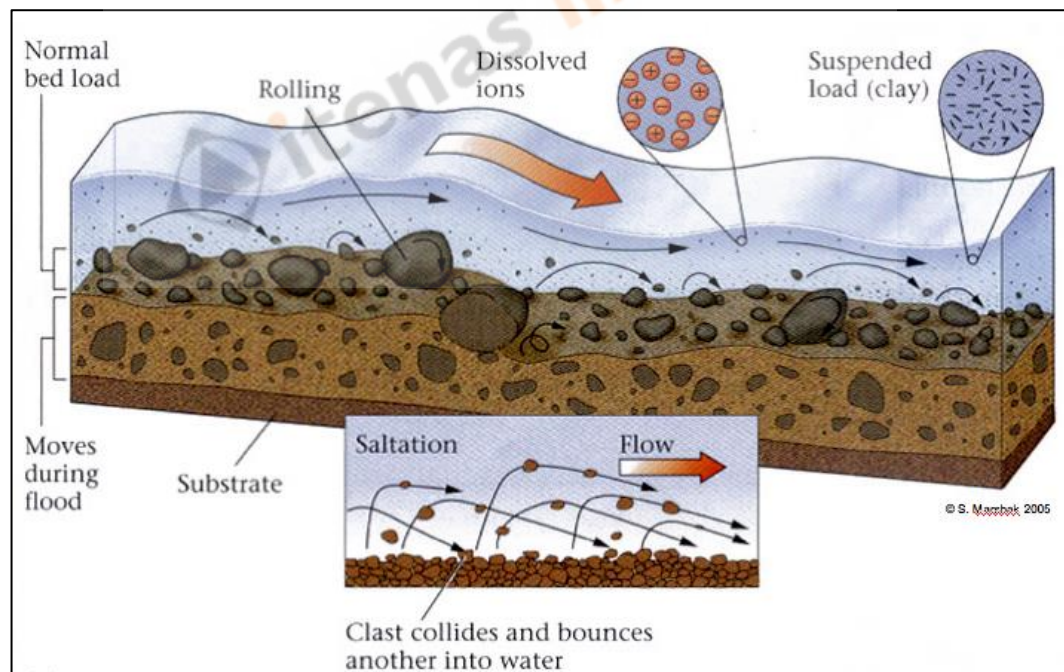
Parameter-parameter yang memengaruhi hidrodinamika diantaranya:

1. Kedalaman air
2. Kondisi pasang surut air
3. Massa jenis air
4. Viskositas air (*Eddy Viscosity*)
5. Kekasaran dasar penampang
6. Gaya *Coriolis*

7. Angin
8. Potensi gelombang
9. Curah hujan dan evapotranspirasi
10. Struktur di sekitar area pemodelan

2.5 Transpor Sedimen

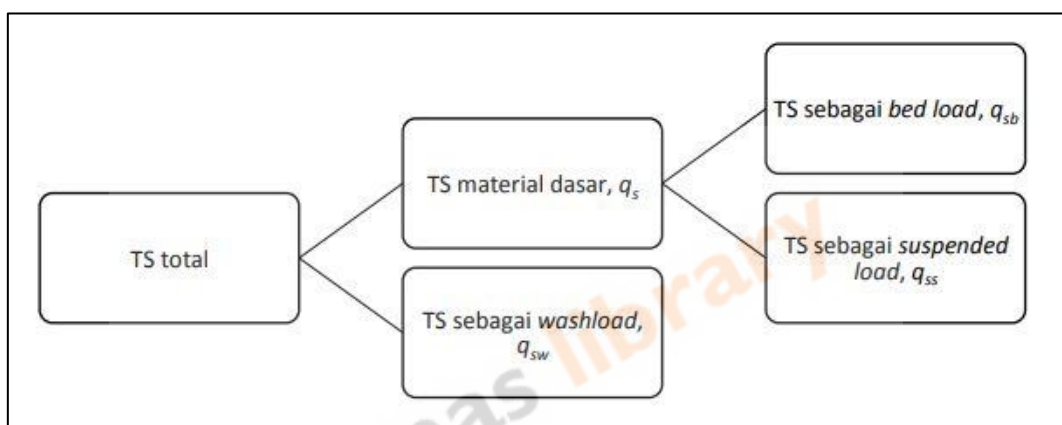
Sedimen adalah material atau pecahan dari batuan, mineral dan material organik yang melayang-layang di dalam air, udara, maupun yang dikumpulkan di dasar sungai atau laut oleh pembawa atau perantara alami lainnya. Sedimen pantai dapat berasal dari erosi pantai, dari daratan yang terbawa oleh sungai, dan dari laut dalam yang terbawa oleh arus ke daerah pantai. Dalam ilmu teknik pantai dikenal istilah pergerakan sedimen pantai atau transpor sedimen pantai. Bambang Triatmodjo (1999) menjelaskan bahwa definisi dari transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya.



Gambar 2.8 Pola Transpor Sedimen pada Aliran Sungai

(Sumber: *University of Maryland, Departement of Geology, 2017*)

Transpor sedimen sendiri diklasifikasikan menjadi transpor sedimen material dasar dan transpor sedimen *wash load*. Transpor sedimen material dasar ini terbagi menjadi *bed load* dan *suspended load*. Klasifikasi ini dijelaskan pada Gambar 2.9. *Wash load* merupakan sedimen yang tidak ditemukan di dasar sungai karena secara permanen tersuspensi. *Bed load* merupakan sedimen yang secara kontinu berada di dasar sungai, dan terangkut secara menggelinding, menggeser, dan melompat. Sedangkan *suspended load* adalah sedimen yang tersuspensi oleh turbulensi aliran dan tidak berada di dasar sungai.



Gambar 2.9 Klasifikasi Transpor Sedimen

(Sumber: Transpor Sedimen Suspensi, Istiarto)

2.6 Sampah Pesisir

Sampah pesisir didefinisikan sebagai suatu zat padat hasil manufaktur yang dibuang di daerah perairan pesisir dan laut (UNEP, 2009). Sampah pesisir terdiri dari barang-barang yang dibuat dan telah digunakan masyarakat dan dibuang secara langsung ke laut atau secara tidak langsung terbawa ke laut melalui sungai, saluran drainase, dan sebagainya.

Sampah pesisir ada di seluruh habitat laut, dari daerah pemukiman yang padat hingga ke titik-titik terpencil yang jauh dari kegiatan manusia, juga dari tepi pantai dan laut dangkal hingga ke palung-palung dan lautan dalam. Kuantitas dan kualitas dari sampah pesisir bervariasi di setiap titik. Hal ini dipengaruhi oleh kegiatan antropogenik, kondisi hidrologi dan meteorologi, kondisi geomorfologi, dan karakteristik fisik dari sampah pesisir itu sendiri.

Sampah pesisir dikelompokkan menjadi beberapa kelompok besar, yakni:

1. Plastik, meliputi sampah berbahan dasar material polimer, yaitu jaring ikan, tali, *buoy*, dan peralatan laut lainnya. Sampah yang termasuk kategori ini juga sampah rumah tangga berbahan dasar plastik, seperti kantong plastik, botol plastik, dan kemasan makanan. Sampah seperti puntung rokok, pemantik api, dan partikel mikro plastik juga termasuk dalam kategori ini.
2. Logam, diantaranya meliputi sampah kaleng minuman dan sampah kaleng produk aerosol.
3. Kaca, diantaranya meliputi sampah botol minuman dan sampah bohlam.
4. Kayu, diantaranya meliputi sampah serbuk gergaji dan sampah peti kayu.
5. Kertas dan kardus, diantaranya meliputi sampah gelas kertas dan sampah kemasan makanan.
6. Karet, diantaranya meliputi sampah ban, dan sampah sarung tangan karet.
7. Pakaian dan tekstil, diantaranya meliputi sampah baju dan sepatu bekas, handuk bekas, hingga perabotan bekas.

2.7 Pemodelan Hidrodinamika

Seperti dijelaskan di atas, hidrodinamika adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang pergerakan fluida khususnya zat cair. Sebuah model hidrodinamika adalah suatu perangkat yang mampu meramalkan atau menggambarkan beberapa gerak air yang mungkin terjadi. Sebelum munculnya sistem berbasis komputer yang tersedia secara luas, model hidrodinamika bisa menjadi model fisik yang dibangun berdasarkan skala. Namun saat ini hampir semua model hidrodinamika yang digunakan adalah model komputasi numerik.

Menurut Triatmodjo (1999) model matematika merupakan penyelesaian numerik dari persamaan matematis yang menggambarkan fenomena alam yang berpengaruh. Fenomena alam ini dapat digambarkan dalam bentuk satu, dua atau tiga dimensi (1D, 2D atau 3D). Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan adalah MIKE 21.

MIKE 21 adalah suatu perangkat lunak rekayasa profesional yang berisi sistem pemodelan yang komprehensif untuk program komputer 2D *free surface flow*. MIKE 21 dapat diaplikasikan untuk simulasi hidrolika dan fenomena terkait di sungai, pantai maupun di laut. MIKE 21 terdiri atas beberapa produk, salah satunya yaitu *Flow Model Flexible Mesh (FM)*.

MIKE 21 *Flow Model (FM)* adalah satu sistem *modeling* berbasis pada satu pendekatan *mesh* fleksibel yang dikembangkan untuk aplikasi di dalam oceanografi, rekayasa pantai dan alam lingkungan muara sungai. *Flow Model FM* itu sendiri terdiri atas beberapa modul, diantaranya *Hydrodynamic Module (HD)*.

Hydrodynamic Module adalah model matematik untuk menghitung perilaku hidrodinamika air terhadap berbagai macam fungsi gaya, misalnya kondisi angin tertentu dan muka air yang sudah ditentukan di *open model boundaries*. Model hidrodinamik dalam *HD module* adalah sistem model numerik umum untuk muka air dan aliran di estuari, teluk dan pantai. Persamaan berikut menggambarkan aliran dan perbedaan muka air.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana:

$h(x, y, t)$: Kedalaman air (m),

$d(x, y, t)$: Kedalaman air dalam berbagai waktu (m),

$\zeta(x, y, t)$: Elevasi permukaan (m),
$p, q(x, y, t)$: <i>Flux density</i> dalam arah x dan y ($m^3/s/m$) = (uh,vh); (u,v) = <i>depth average velocity</i> dalam arah x dan y,
$C(x, y)$: Tahanan Chezy ($m^{1/2}/s$),
g	: Kecepatan gravitasi (m/s^2),
$f(V)$: Faktor gesekan angin,
$V, V_x, V_y(x, y, t)$: Kecepatan angin dalam arah x dan y (m/s),
$\Omega(x, y)$: Parameter Coriolis (s^{-1}),
$p_a(x, y, t)$: Tekanan atmosfer (kg/m^2),
ρ_w	: Berat jenis air (kg/m^3),
(x, y)	: Koordinat ruang (m),
t	: Waktu (s),
$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$: Komponen <i>effective shear stress</i> .

2.8 Pemodelan Hidrodinamika dengan *Particle Tracking Module*

Particle Tracking Module merupakan salah satu cara untuk meramalkan pergerakan partikel di fluida. Metode ini menggunakan diskritisasi persamaan Lagrange, dengan membagi seluruh massa pada model menjadi partikel-partikel sesuai dengan koordinat 3D. Proses *Particle Tracking* bergantung pada jumlah partikel pada asal, maka pemodelan dan permasalahan dapat diselesaikan dengan lebih singkat dengan membagi massa model menjadi partikel-partikel. Namun, semakin banyak partikel, semakin lama pula pemodelan akan dihasilkan. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan ini merupakan persamaan Langevin yang dirumuskan di bawah ini.

$$dX_t = a(t, X_t)dt + b(t, X_t)\checkmark dt \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana:

a	: Parameter layang
b	: Parameter sebaran
\checkmark	: Angka/konstanta

Salah satu parameter dalam pemodelan hidrodinamika yang dibuat di dalam modul *Particle Tracking* adalah jumlah partikel yang dinyatakan dalam *flux*. Nilai

flux ditentukan dari jumlah partikel yang dinyatakan dalam satuan kg/s. Jika data yang diperoleh dinyatakan dalam satuan g/m/tahun, maka data tersebut dikonversikan ke dalam satuan kg/s seperti pada rumus di bawah ini.

$$Flux = \frac{Volume\ Sampah\ Plastik * Panjang\ Pesisir}{1000} * \frac{1}{365 * 24 * 3600} \dots\dots\dots (2.5)$$

