

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Muara Sungai

Muara sungai adalah bagian hilir dari sungai yang berhubungan dengan laut. Permasalahan di muara sungai dapat ditinjau di bagian mulut sungai (*river mouth*) dan estuari. Mulut sungai adalah bagian paling hilir dari muara sungai yang langsung bertemu dengan laut. Sedangkan estuari adalah bagian dari sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut.

Muara sungai berfungsi sebagai keluar dan masuknya debit sungai, terutama pada waktu banjir, ke laut. Selain itu muara sungai juga harus melewati debit yang ditimbulkan oleh pasang surut, yang bisa lebih besar dari debit sungai. sehingga muara sungai harus cukup lebar dan dalam.

Muara sungai dapat dibedakan dalam tiga kelompok, yang tergantung pada faktor dominan yang mempengaruhinya. Ketiga faktor dominan tersebut adalah gelombang, debit sungai dan pasang surut (Nur Yuwono, 1994).

1. Gelombang

Gelombang besar yang terjadi pada pantai berpasir dapat menimbulkan angkutan sedimen, baik dalam arah tegak lurus dan sejajar pantai. Angkutan sedimen tersebut dapat bergerak masuk ke muara sungai dan karena di daerah tersebut kondisi gelombang sudah tenang maka sedimen akan mengendap. Semakin besar gelombang semakin besar angkutan sedimen dan semakin banyak sedimen yang mengendap di muara.

2. Debit Sungai

Hal ini terjadi pada sungai dengan debit sepanjang tahun cukup besar yang bermuara di laut dengan gelombang relatif kecil. Pada waktu air surut sedimen akan terdorong ke muara dan menyebar di laut. Selama periode sekitar titik balik di mana kecepatan aliran kecil, sebagian suspensi mengendap. Pada saat dimana air mulai pasang, kecepatan aliran bertambah besar dan sebagian suspensi dari laut masuk kembali ke sungai bertemu dengan sedimen yang berasal dari hulu. Selama periode dari titik balik ke air pasang maupun air surut kecepatan aliran bertambah sampai mencapai maksimum dan kemudian berkurang lagi. Dengan demikian

dalam satu siklus pasang surut jumlah sedimen yang mengendap lebih banyak daripada yang tererosi, sehingga terjadi pengendapan di depan mulut sungai.

3. Pasang Surut

Apabila tinggi pasang surut cukup besar, volume air pasang yang masuk ke sungai sangat besar. Air tersebut akan berakumulasi dengan air dari hulu sungai. Pada waktu air surut, volume air yang sangat besar tersebut mengalir keluar dalam periode waktu tertentu yang tergantung pada tipe pasang surut. Dengan demikian kecepatan arus selama air surut tersebut besar, yang cukup potensial untuk membentuk muara sungai. Muara sungai tipe ini berbentuk corong atau lonceng.

2.2. Strategi Pengelolaan Muara Sungai

Adapun strategi pengelolaan muara sungai untuk menanggulangi masalah tersebut didasarkan pada beberapa pertimbangan seperti jenis pemanfaatan muara sungai, operasi dan pemeliharaan, dampak lingkungan dan sebagainya. Dua pilihan dasar yang perlu ditinjau adalah (Triatmodjo, 1999:293):

1. Muara sungai selalu terbuka

Supaya mulut sungai selalu terbuka diperlukan dua buah *jeti* panjang untuk menghindari sedimentasi didalam alur muara dan pembentukan *sand bar*. Untuk menanggulangi erosi yang terjadi di hilir *jeti*, diperlukan bangunan pengendali erosi yang dapat berupa revetmen, groin, pemecah gelombang atau kombinasi dari ketiganya.

2. Muara sungai boleh tertutup

Ada dua pilihan yaitu mulut sungai tidak boleh berbelok atau boleh berpindah. Pembelokan muara sungai dapat menyebabkan sungai semakin panjang dan dapat mengurangi kemampuannya untuk melewati debit. Untuk menahan pembelokan muara sungai perlu dibuat *jeti* sedang, *jeti* pendek, bangunan di tebing mulut sungai, atau pengerukan rutin endapan.

2.3. Sedimen

2.3.1. Pengertian Sedimen

Sedimen adalah pecahan-pecahan material umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar (*boulder*) sampai yang sangat halus (*koloid*), dan beragam bentuk dari bulat, lonjong sampai persegi. Pada umumnya partikel yang bergerak dengan cara bergulung, meluncur dan meloncat disebut angkutan muatan dasar (*bed-load transport*), sedangkan partikel yang melayang disebut angkutan muatan layang (*suspended load transport*). (Sarsodarsono, 1989)

Menurut Bhat (1978), sedimen yaitu lepasnya puing-puing endapan padat pada permukaan bumi yang dapat terkandung di dalam udara, air, atau es dibawah kondisi normal. Sedimentasi adalah proses yang meliputi pelapukan, transportasi, dan pengendapan. Batuan sedimen adalah batuan yang dibentuk oleh sedimen.

Menurut Asdak (1995), sedimen merupakan hasil proses erosi, baik erosi permukaan, erosi parit, atau tipe erosi lainnya meskipun hasil proses erosi tebing mempunyai seumbangan dalam bagian ini, namun porsinya sangat kecil dan dapat dianggap sebagai proses alami.

Sedimentasi menjadi penyebab utama berkurangnya produktivitas lahan pertanian, dan berkurangnya kapasitas saluran atau sungai akibat pengendapan material hasil erosi. Dengan berjalannya waktu, aliran air terkonsentrasi ke dalam suatu lintasan-lintasan yang agak dalam, dan mengangkut partikel tanah dan diendapkan kedaerah dibawahnya yang mungkin berupa sungai, waduk, saluran, irigasi, ataupun area pemukiman penduduk (Hardiyatmo, 2006)

Material sedimen adalah kuarsa, begitu partikel sedimen terlepas mereka akan terangkut oleh gaya grafitasi, angin dan atau air. Angkutan sedimen di sungai yang bergerak oleh aliran air, sangat erat berhubungan dengan erosi tanah permukaan karena hujan. Air yang meresap ke tanah dapat mengakibatkan longsoran tanah yang kemudian masuk ke sungai mempunyai andil yang sangat besar pada jumlah angkutan sedimen di sungai.

Karena muatan dasar senantiasa bergerak, maka permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (agradasi) tetapi kadang-kadang turun (degradasi) dan naik turunnya dasar sungai disebut alterasi dasar sungai (*riverbed alteration*).

2.3.2. Struktur Sedimen

Struktur sedimen adalah kenampakan pada batuan sedimen sebagai akibat dari adanya proses pengendapan. Struktur ini merupakan sifat yang sangat penting pada batuan sedimen baik yang berada pada bagian atas, bagian bawah maupun bagian dalam lapisan. Struktur sedimen ini dapat digunakan untuk menentukan proses dan keadaan serta lingkungan pengendapan, arah arus pengendapan, kedalaman, energy, kecepatan dan hidrolika arah arus yang mengalir serta pada daerah batuan yang terlipat dapat dipakai untuk mengetahui bagian bawah dan bagian atas perlapisan.

Selley (1980) mengelompokkan struktur sedimen berdasarkan asal usulnya menjadi 3 kelompok, yaitu:

1. Struktur sedimen sebelum pengendapan (*Pre-depositional Sedimentary structures*)
2. Struktur sedimen saat pengendapan (*Syn-depositional Sedimentary structures*)
3. Struktur sedimen setelah pengendapan (*Post-depositional Sedimentary structures*)

2.4. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Sedimentasi

Faktor terpenting yang biasanya mempengaruhi proses sedimentasi di daerah pengaliran sungai adalah (Sasrodarsono, 1989) :

- a.) Cakupan areal daerah erosi

Kapasitas sedimen yang dihanyutkan oleh suatu erosi biasanya berbanding lurus dengan luas daerah pengalirannya.

- b.) Kondisi geologi di daerah pengaliran

Struktur geologi yang membentuk daerah pengaliran jenis batuan serta daerah penyebarannya, tingkat pelapukan serta daya tahan batuan terhadap pengaruh cuaca dan karakteristik geologi lainnya.

- c.) Kondisi topografi

Menyangkut elevasi suatu daerah tertentu, kondisi perbukitan maupun pegunungan serta kemiringannya.

d.) *Kondisi meteorologi*

Karakteristik dari hujan yang jatuh di daerah tersebut antara lain menyangkut intensitas, frekuensi serta durasinya.

e.) *Karakteristik hidrolika*

Menyangkut debit sungai, kecepatan aliran, konfigurasi alur sungai, bentuk penampang lintang sungai, kemiringan dan kekasaran batuan pembentuk dasar sungai.

f.) *Vegetasi pada daerah tersebut*

g.) *Kegiatan yang langsung pada sungai maupun kegiatan pada areal tanah di daerah pengaliran.*

2.5. Proses Sedimentasi

Pada umumnya partikel yang bergerak dengan cara bergulung, meluncur dan meloncat disebut angkutan muatan dasar (*bed-load transport*), sedangkan partikel yang melayang disebut angkutan muatan layang (*suspended load transport*). Selain itu sedimen diartikan juga sebagai proses terbawanya material hasil pelapukan dan erosi oleh air, angin, atau gletser untuk diendapkan di suatu wilayah. Proses sedimentasi berkaitan erat dengan peristiwa erosi.

Banyaknya endapan sedimentasi hasil erosi menunjukkan tingkat sedimentasi yang tinggi. Akibat dari terjadinya proses sedimentasi adalah timbulnya pendangkalan pada sungai, danau, dan waduk. Selanjutnya, semua hasil pelapukan material yang diendapkan melalui proses sedimentasi lama-kelamaan akan menjadi batuan sedimen. Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan diendapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa pengendapan ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi. (Arsyad, 2010). Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen.

Material sedimen adalah kuarsa, begitu partikel sedimen terlepas mereka akan terangkut oleh gaya grafitasi, angin dan atau air. Angkutan sedimen di sungai yang bergerak oleh aliran air, sangat erat berhubungan dengan erosi tanah permukaan karena hujan. Air yang meresap ke tanah dapat mengakibatkan longsor tanah yang

kemudian masuk ke sungai mempunyai andil yang sangat besar pada jumlah angkutan sedimen di sungai. Seluruh proses merupakan siklus yang saling terkait antara erosi tanah, angkutan sedimen, pengendapan. Karena muatan dasar senantiasa bergerak, maka permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (*agradasi*) tetapi kadang-kadang turun (*degradasi*) dan naik turunnya dasar sungai disebut alterasi dasar sungai (*river bed alteration*). muatan melayang tidak berpengaruh pada alterasi dasar sungai, tetapi dapat mengendap di dasar waduk atau muara sungai, yang menimbulkan pendangkalan-pendangkalan waduk atau muara sungai tersebut yang menyebabkan timbulnya berbagai masalah.

Sedimentasi selalu terkait dengan erosi, yang biasanya disebabkan oleh faktor iklim (terutama intensitas hujan), topografi, karakteristik tanah, vegetasi penutup tanah, serta tata guna lahan (*landuse*). Foster dan Meyer (1977) berpendapat bahwa erosi sebagai penyebab timbulnya sedimentasi yang disebabkan oleh air terutama meliputi proses pelepasan (*detachment*), penghanyutan (*transportation*), dan pengendapan (*deposition*) dari partikel-partikel tanah yang terjadi akibat tumbukan air hujan dan aliran air.

Proses sedimentasi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

1. Proses sedimentasi secara geologis : Sedimentasi secara geologis merupakan proses erosi tanah yang berjalan secara normal, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan agradasi pada permukaan kulit bumi akibat pelapukan.
2. Proses sedimentasi yang dipercepat : Sedimentasi yang dipercepat merupakan proses terjadinya sedimentasi yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah. Cara mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimentasi yang tinggi.

Proses pengangkutan sedimen (*sediment transport*) dapat diuraikan meliputi tiga proses sebagai berikut :

1. Pukulan air hujan (*rainfall detachment*) terhadap bahan sedimen yang terdapat di atas tanah sebagai hasil dari erosi percikan (*splash erosion*) dapat

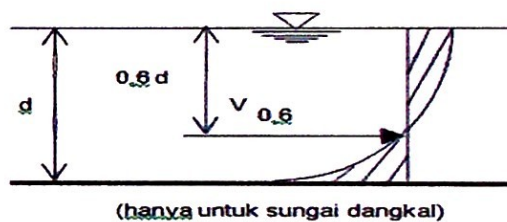
- menggerakkan partikel-partikel tanah tersebut dan akan terangkut bersama-sama limpasan permukaan (*overland flow*).
2. Limpasan permukaan (*overland flow*) juga mengangkat bahan sedimen yang terdapat di permukaan tanah, selanjutnya dihanyutkan masuk kedalam alur-alur (*rills*), dan seterusnya masuk kedalam selokan dan akhirnya ke sungai.
 3. Pengendapan sedimen, terjadi pada saat kecepatan aliran yang dapat mengangkat (*pick up velocity*) dan mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*) yang dipengaruhi oleh besarnya partikel-partikel sedimen dan kecepatan aliran.

2.6. Metode pengukuran kecepatan aliran di sungai

a. Metode satu titik

Metode ini digunakan untuk sungai yang dangkal dengan mengukur pada kedalaman 0,6 h. Kecepatan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

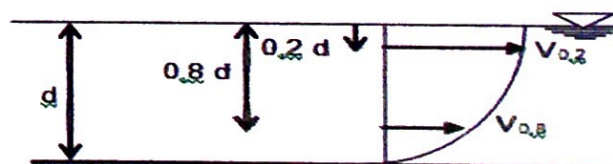
$$V = V_{0,6}$$



Sumber : *Manual of Standard Operating Procedures for Hydrometric Surveys in British Columbia*, November 1998

Gambar II.1. Metode satu titik

b. Metode dua titik



Sumber : *Manual of Standard Operating Procedures for Hydrometric Surveys in British Columbia*, November 1998

Gambar II.2. Metode dua titik

Pengukuran dilakukan pada kedalaman 0,2h dan 0,8h. Kecepatan rata-rata dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \dots\dots\dots(II.1.)$$

c. Metode tiga titik

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}}{3} \dots\dots\dots(II.2.)$$

2.7. Muatan dasar (*Bed Load Transport*)

Muatan dasar (*bed load*) adalah partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat. Muatan dasar keadaannya selalu bergerak, oleh sebab itu pada sepanjang aliran dasar sungai selalu terjadi proses degradasi yang disebut sebagai “alterasi dasar sungai”. Sedimen dasar adalah *transport dari butiran sedimen secara menggelinding, menggeser dan melompat yang terjadi di dasar saluran.*

Partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*). Adanya muatan sedimen dasar ditunjukkan oleh gerakan partikel-partikel dasar sungai. Gerakan itu dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang dapat sampai jarak tertentu dengan ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bergerak ke arah hilir. (Soewarno, 1991).

Beberapa formulasi untuk menghitung jumlah transportasi muatan dasar telah dikembangkan oleh beberapa peneliti dari tahun ke tahun. Formula muatan dasar ini didasarkan pada prinsip bahwa kapasitas aliran sedimen transport sepanjang dasar bervariasi secara langsung dengan dengan perbedaan antara shear stress pada partikel dasar dan shear stress (tegangan geser) kritis yang diijinkan untuk partikel yang bergerak.

2.7.1. Cara Pengambilan Contoh Sedimen Dasar

Pengambilan contoh muatan sedimen dasar dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- (a) Tahap persiapan pengambilan contoh, sebagai berikut.

Tentukan lokasi pengambilan dan siapkan data hasil pengukuran penampang melintang, siapkan data hasil pengukuran debit, periksa dan rakit

alat pengambilan contoh, siapkan formulir pengambilan contoh, isi formulir pengambilan contoh dan tentukan jumlah titik pengambilan di suatu penampang melintang.

(b) Tahap pengambilan contoh, sebagai berikut :

Hitung besar debit pada setiap sub penampang melintang. hitung debit tengah dari setiap sub penampang melintang, tentukan lokasi pengambilan dengan cara mencari titik pada kartu pengukuran dengan besar debit yang paling dekat, tentukan jarak lokasi titik pengambilan dari sisi sungai. Tentukan lama waktu pengambilan sampel. Lakukan pengambilan contoh muatan sedimen dasar. Masukkan contoh muatan sedimen dasar ke dalam karung plastik yang telah disediakan. karung tersebut diberi tanda label. Siapkan contoh muatan sedimen dasar untuk dianalisis di laboratorium, ulangi kegiatan diatas untuk lokasi titik pengambilan yang lainnya, hingga semuanya selesai dikerjakan.

2.7.2. Perkiraan Muatan Sedimen Dasar dengan Rumus Empiris

Adapun pengukuran sedimen dapat menggunakan rumus-rumus pendekatan dibawah ini :

1. Pendekatan *shear stress*

Pendekatan *shear stress* dibagi menjadi 2, yaitu:

a) Pendekatan Duboys'

$$q_b = \frac{0,173}{d^{3/4}} \tau (\tau - \tau_c) = (\text{ft}^3/\text{s})/\text{ft} \dots \dots \dots (\text{Pers.II.3.})$$

Dimana C_f = koefisien pergeseran

m = jumlah tingkatan

ϵ = ketebalan

D = kedalaman air

S = kemiringan saluran

γ_s dan γ = berat spesifik sedimen dan air

b) Pendekatan Shields'

$$\frac{q_b \gamma_s}{q \gamma_s} = 10 \frac{\tau - \tau_c}{\gamma_s - \gamma} \dots \dots \dots (\text{Pers.II.4.})$$

Dimana q_b dan q = pertukaran air sedimen per unit

$$\tau = \gamma DS$$

d = diameter partikel sedimen, dan

γ_s = berat spesifik air dan sedimen

2. Pendekatan *Energy Slope* dibagi menjadi :

a). Pendekatan Meyer – Peter's dan miller'

$$\gamma \left(\frac{K_s}{K\gamma} \right)^{3/2} RS = 0.047 (\gamma_s - \gamma) d + 0.25 \rho^{1/3} q_b^{2/3} \dots \dots \dots \text{(Pers.II.5)}$$

Dimana γ dan γ_s = berat spesifik air dan sedimen (in m)

R = hidrolis (in m)

S = kemiringan dasar sungai

d = diameter partikel (in m)

ρ = rapat massa (in metric ton-s/m⁴)

q_b = berat dari bawah [in (m ton/s)/m]

$(K_s/K\gamma)S$ = jenis slope terbagi berdasarkan total energy yang Hilang, berkaitan dengan pergerakan sedimen yang ada

$$S = \frac{V^2}{K^2 s R^{4/3}} \dots \dots \dots \text{(Pers.II.6.)}$$

$$\left(\frac{K_s}{K\gamma} \right)^{3/2} = \frac{Sr}{S} \dots \dots \dots \text{(Pers.II.7.)}$$

2.8. Muatan Layang (*Suspended Load Transport*)

Suspended Load adalah sedimen bergerak didalam air sungai sebagai sedimen tersuspensi (*Suspended Load*) dalam air yang mengalir dan sebagai muatan dasar (*bed load*) yang bergeser atau menggelinding sepanjang dasar saluran. Sedimen layang (suspensi) adalah transport butiran dasar yang tersuspensi oleh gaya gravitasi yang diimbangi gaya angkat yang terjadi pada turbulensi aliran. Itu berarti butiran dasar terangkut keatas lebih besar atau kecil tapi pada akhirnya akan mengendap dan kembali ke dasar sungai. Banyak persamaan sedimen suspensi yang telah dikembangkan seperti persamaan *Engelund* dan *Hansen* namun persamaan ini tidak memberikan informasi yang cukup terkait distribusi konsentrasi dari butiran pada arah vertical, besarnya konsentrasi (C) ditentukan secara teoritik.

2.9. Total Load Transport

Volume sedimen total adalah penjumlahan dari volume angkutan sedimen melayang dengan volume angkutan dasar. (Bendungan Tipe Urugan, Sosrodarsono).