

# EVALUASI KEJADIAN SEDIMENTASI DI KALI SURABAYA, SEBAGAI DATA PENUNJANG UNTUK MENGANTISIFASI TERJADINYA BANJIR DI KOTA SURABAYA

Kusnan

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

## ABSTRAK

Kali Surabaya merupakan cabang Kali Brantas yang berhulu di Gunung Arjuna daerah Malang, kemudian mengalir sampai hilir yang berada selat Madura di Surabaya, dalam proses aliran air Kali Surabaya melewati Mojokerto, Gresik, Sidoarjo dan Surabaya berakhir di muara Selat Madura. Fungsinya sangat vital terhadap kelangsungan hidup dan perekonomian masyarakat pada ke empat kota tersebut, yaitu sebagai pengambilan air irigasi, PDAM, Industri, dan pengendalian banjir.

Untuk pengendalian banjir kota Surabaya, salah satu bagian yang diperlukan untuk pengendali banjir adalah kejadian sedimentasi yang menyangkut sifat dan karakteristik Kali Surabaya (Gunungsari). Dimana kejadian sedimen ini lambat laun akan mengakibatkan pendangkalan dasar sungai dan megecilnya palung sungai atau lebar sungai, akibatnya debit aliran air dari daerah hulu akan mengalami aliran luberan pada palung sungai yang mempunyai tanggul rendah. Pada saat proses perjalanan aliran menuju bagian di hilir (muara selat Madura), jika debit aliran ini tidak tertampung pada penampang basah palung sungai terjadilah banjir. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan perhitungan transportasi sedimentasi pada debit rata-rata pertahun, sebagai *balance* besaran volume aliran air penampang basah dasar sungai yang ditempati oleh Sedimentasi, nantinya akan dipakai sebagai data pendukung untuk perhitunganantisipasi terjadinya banjir mendatang. Hasil Debit sedimentasi rata-rata pertahun  $53,512 \text{ m}^3/\text{dt}$ , yang terjadi di daerah Kali Surabaya tahun 2006, Sedangkan dari hasil penelitian dengan memakai perumusan (1); Meyer, Peter dan Muller, (2) Enggulend dan Hasen, (3) Acker dan White masing-masing menunjukkan hasil seperti berikut : (1) terbesar  $16,0142 \text{ m}^3/\text{detik}$ , dan terkecil  $0,0084 \text{ m}^3/\text{hari}$ ; (2) terbesar  $202,3869 \text{ m}^3/\text{hari}$  dan terkecil  $0,0437 \text{ m}^3/\text{hari}$  dan (3) terbesar  $40,7085 \text{ m}^3/\text{hari}$  dan terkecil  $0,0821 \text{ m}^3/\text{hari}$ . Jika dari ketiga ini diambil yang maksimal yaitu kejadian sidemen =  $202,3869 \text{ m}^3/\text{tahun}$  dan minimal =  $0,0437 \text{ m}^3/\text{tahun}$ , berarti volume sedimentasi yang terjadi pada tiap-tiap tahun, supaya tidak mengakibatkan luapan air atau luberan aliran air, sebesar volume kejadian sedimentasi pada sepanjang Kali Surabaya, maka diperlukan adanya perhitungan besaran volumen sidimentasi secara priodik di Kali Surabaya, sehingga untuk mengimbangi (*balance sediment* dan aliran air luberan), dan hasil data-data yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dipakai sebagai pendukung data untuk mengatasi (antisipasi) akan terjadinya banjir.

**Kata kunci :** Transportasi sedimen Kali Surabaya, sebagai cegah banjir

## ABSTRAC

Kali Surabaya is the fork of Kali Brantas having the upper course at the Arjuna Mountain in Malang region, later, it flows up to downstream at Madura narrows in Surabaya, in the water flow process of Kali Surabaya passed through Mojokerto, Gresik, Sidoarjo and Surabaya ended at Madura Narrows estuary. Its functions is very vital on the

survival and economy of the societies in the four cities, that is as the water taking for irrigation, Municipal Waterworks, Industry, and flood control.

For the flood control of Surabaya city, one of parts needed for flood control is the sedimentation occurrence related to the properties and characteristics of Kali Surabaya (Gunungsari). Where this sediment occurrence gradually will cause the silting up of riverbed and the reduction of riverbed or river width, as a result, the water flow discharge from the upper course area will undergo the overflow in the riverbed that have the low embankment. When at the flow trip process toward the downstream part (Madura narrows estuary), if this flow discharge does not retained in the riverbed wet longitudinal section then the flood happen. To overcome the matter it is needed the sedimentation transportation calculation in the average discharge of each year, as the balance of riverbed wet longitudinal section water flow volume scale occupied by the Sedimentation, later it will be used as the supporting data for the calculation of the future flood occurrence anticipation. The result of yearly average sedimentation discharge  $53.512 \text{ m}^3/\text{s}$ , taken place in the Kali Surabaya area in 2006. While, from the research results by using formulations (1) Meyer, Peter and Muller, (2) Enggulend and Hasen, (3) Acker and White respectively showed results as follows: (1) the largest was  $16.0142 \text{ m}^3/\text{s}$ , and the smallest was  $0.0084 \text{ m}^3/\text{day}$ ; (2) the largest was  $202.3869 \text{ m}^3/\text{day}$  and the smallest was  $0.0437 \text{ m}^3/\text{day}$  and (3) the largest was  $40.7085 \text{ m}^3/\text{day}$  and the smallest was  $0.0821 \text{ m}^3/\text{day}$ . If of these three taken the maximum namely the sediment occurrence =  $202.3869 \text{ m}^3/\text{year}$  and minimum =  $0.0437 \text{ m}^3/\text{year}$ , it meant that the occurred sedimentation volume in each year, so that it does not cause in along Kali Surabaya, then it needed the calculation of sedimentation volume scale in Kali Surabaya periodically, thus to offset (balance sediment and the overflowing of water flow), and data obtained from this research can be used as the support to overcome (anticipation) for the flood occurrence.

**Key words:** Sediment transportation of Kali Surabaya, as the flood prevention

## PENDAHULUAN

Sedimen (*sediment transport*) yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitannya dengan debit sungai, mempunyai arti penting dalam kegiatan pengembangan sumberdaya air. Data sedimen diperlukan antara lain : Perencanaan tanggul banjir sungai, perencanaan lebar dan kemiringan saluran irigasi, kondisi tingkat erosi pada daerah pengaliran sungai, perencanaan Jembatan (Soewarno, 1991).

Proses sedimentasi itu sendiri dalam konteks hubungan dengan sungai meliputi, penyempitan palung, erosi, transportasi sedimentas (*transport sediment*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*Compaction*) dari sedimen itu sendiri. Karena prosesnya merupakan gejala sangat komplek, dimulai dengan jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetic yang merupakan permulaan

proses terjadinya erosi tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah, sedangkan bagian lainnya masuk kedalam sungai terbawa aliran menjadi sedimen. Besarnya volume sedimen terutama tergantung pada perubahan kecepatan aliran, karena perubahan pada musim penghujan dan kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia.

Sebagai akibat dari perubahan volume sedimen adalah terjadinya penggerusan dibeberapa tempat serta terjadinya juga pengendapan pada dasar sungai yang nantinya dapat mempengaruhi perubahan dasar sungai. Perubahan ini akan berakibat pada kondisi muka air yang terjadi dan aliran pada sungai tersebut dapat berakibat luber dari palung sungai (banjir luberan air kiriman) , sehingga fungsi dari sungai

akan mengalami perubahan. Hal ini akan membawa dampak langsung kepada data perhitungan sedimen yang terjadi, data perhitungan sedimen merupakan proses yang rumit dengan kompleksnya parameter yang mempengaruhi, sehingga pengukuran volume sedimen masih merupakan perkiraan yang terbaik terhadap besarnya hasil sedimen. Namun demikian, beberapa rumus perhitungan sedimen yang didasarkan pada analisa pada analisa teoritis akan sangat berguna, jika data yang tersedia cukup panjang. Ketelitian hasil sedimen akan bertambah besar, jika periode pengukuran data cukup panjang.

Dari hasil monitoring terhadap hasil pengukuran sedimen pada daerah hulu sebagai awal terjadinya sedimen yaitu pengukuran di Waduk Sutami pada periode sebelumnya, terdapat indikasi bahwa jumlah sedimen yang masuk ke Waduk Sutami meningkat secara drastis pada periode 1992 s/d 2002. Untuk menanggulangi hal ini telah dilakukan antisipasi penanggulangan sebagai berikut :

- Penghijauan atau reboisasi tanaman pada daerah lahan yang kritis, usaha ini upaya untuk sebagai penahan erosi tanah.
- Pembuatan/revitalisasi/rehabilitasi *Chek Dam* yang ada pada daerah bagian hulu yaitu di Waduk Sengguruh dan Waduk Lesti.

Pada beberapa tahun terakhir telah dilakukan penghijauan kembali lahan-lahan yang kritis untuk mengendalikan erosi sebagai sumber asal sedimen. Tetapi akibat laju sedimen yang berlebihan pada tahun-tahun sebelumnya mengakibatkan akumulasi sedimen di dasar waduk sudah melampaui kapasitas tampungan rencana. Fakta yang terjadi adalah walaupun kapasitas tampungan sedimen yang ditetapkan telah terlampaui, hingga saat ini Waduk Sutami masih tetap bisa beroperasi. Usia Waduk Sutami yang bila ditinjau dari besarnya jumlah sedimen yang masuk

terhadap tampungan sedimen rencana mestinya telah berakhir, yang berarti telah melampaui batas kapasitas tampungan sedimen yang telah direncanakan, hal diatas akan membawa dampak langsung pada operasi Waduk Sutami pada saat mengalir air untuk keperluan irigasi pada daerah-daerah bagian hilir, diantaranya Kali Brantas, yang pengaliran diteruskan menuju ke Kali Surabaya.

Ada dugaan kuat bahwa sedimentasi yang terjadi bersumber dari erosi-erosi lahan-lahan kritis pada Daerah Aliran Waduk (DAW) yang cenderung semakin meluas, kemudian terjadi pengangkutan sedimen akibat aliran Sungai Kali Brantas dan anak-anak cabang Sungai yang menjadikan endapan pada dasar Waduk, kalau dicermati secara aktual dilapangan Kali Brantas memiliki total daerah pengaliran kurang lebih 12.000 km<sup>2</sup>, memiliki mata air yang berasal dari anak-anak sungainya yang berasal dari Gunung Arjuna dan mengalir ke daerah barat dan utara mengelilingi Gunung Kelud. Dibagian hilir Kali Brantas mengalir melalui Kota Mojokerto kemudian terbagi menjadi dua yaitu Kali Porong dan Sungai yang lebih kecil yang dinamakan Kali Surabaya.

Kali Surabaya sebagai muara Kali Brantas dimulai dari Kota Mojokerto mengalir sepanjang ± 30,35 km ke timur laut melalui Sidoarjo, Gresik, Surabaya dan bermuara di Selat Madura. Adapun fungsi utamanya terkait dengan keempat Wilayah tersebut diantaranya:

- Sebagai alternatif pembuang utama untuk mengantisipasi berkembangnya kota dimasa mendatang.
- Sebagai sistem pengambilan/Intake
- Sebagai alternatif pengendali banjir
- Propek ke depan sebagai potensi wisata (transportasi air)

Kali Surabaya di musim penghujan akan mengalir debit yang besar akibat air hujan yang turun di daerah pengalirannya (DAS) sendiri, juga berupa limbah

dari Kali Brantas berupa air kiriman, maupun sidementasi yang berasal aliran, dimulai dari bagian hulu (DAW Sutami ke Kali Brantas Mojokerto). Sebaliknya pada muim kemarau dimana kebutuhan air meningkat, sedangkan ketersediaan air menurun, maka untuk meninggikan elevasi permukaan air pada musim kemarau, diperlukan pembangunan Dam-dam atau pintu air yang dimaksudkan, untuk menaikkan elevasi permukaan air saat musim kemarau, sehingga memungkinkan terjadi pengambilan air secara gravitasi dan pada musim penghujan debit air tidak meluap (meluber) dari sepanjang kali Surabaya, akan tetapi jika limbah kiriman sedimen dari Kali Brantas ini tidak diantisipasi besaran volumenya akan membawa dambak langsung menambah besar Debit banjir, maka untuk mengantisipasi terjadinya banjir perlu pendataan sedimensi yang terjadi akibat pertambahan besaran sidementasi berakumulasi jumlahnya.

Terkait dengan fungsi utamanya Kali Surabaya, maka studi dalam openelitian adalah menghitung pergerakan transportasi sedimen di Kali Surabaya, hal ini penting untuk dilakukan, dengan maksud untuk mengetahui sejauh mana kondisi sungai tersebut dengan sifat dan karakteristik terhadap jumlah volume sidimen yang akan dihasilkan oleh kali sungai tersebut, pada saat musim kemarau atau hujan.

Sedimentasi sendiri adalah siklus hidrologi yang tidak dapat dihindari, maka dengan data-data pergerakan sedimen yang telah diketahui nantinya dapat dilakukan studi-studi perencanaan lanjutan, agar baik pengendapan maupun pengeseran yang terjadi di sungai masih dalam batasan normal yaitu dengan jalan memastikan bahwa kapasitas transportasi dari sedimen sama dengan jumlah sedimen yang masuk ke dalam sungai tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat bangunan-bangunan pengendali/pengontrol sedimen ialah

suatu tanggul, krib, *strek dam* (Soemarto 1995).

Menghidari sedimen yang berlebihan, akan mengurangi dampak yang ditimbulkan seperti banjir pada musim penghujan dan tidak tersedianya air untuk industri, pengelolaan air minum (PDAM) maupun irigasi pada musim kemarau. Dari masalah tersebut diatas timbul masalah seberapa besar volume sidementasi yang terjadi di Kali Surabaya, sebagai bagian penyebab banjir.

## **KAJIAN KEPUSTAKAAN**

### **1. Perhitungan Debit Banjir Rencana**

#### **a. Hujan Rerata Daerah kajian**

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir pada penentuan dimensi drainase (saluran) adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah Gunungsari, Wonokromo, yang bersangkutan, bukan curah hujan disuatu titik tertentu. (*Sosrodarsono*, 1983).

Curah hujan ini dinyatakan dalam millimeter. Untuk menghitung curah hujan ini ada beberapa cara yaitu cara rerata aljabar/hitung, cara poligon thiessen dan cara isohyet

Harga rata-rata hitung didapatkan dengan menjumlahkan curah hujan dari semua tempat pengukuran selama kala ulang 10 tahun.

Dalam penelitian digunakan dengan cara Thiessen dianggap bahwa data curah hujan dari suatu tempat pengamatan dapat dipakai untuk daerah pengaliran disekitar tempat itu yaitu pada stasiun Gunungsari, Wonokromo dan Tandes Banyuurip (hasil pencatatan diolah dengan cara polygon thiessen hasil pada lampiran)

#### **b. Hujan Harian Maksimum.**

Untuk mendapatkan hitungan Debit hujan maksimum keperluan Debit banjir rencana yang terjadi, memakai kala ulang 10 (sepuluh) tahun, menggunakan perumusan curah hujan rancangan dengan *log Person type III*, untuk

dipakai control perhitungan dimensi potongan melintang Kali Surabaya pada daerah Gunngsari dan Wokromo.

## 2.Sedimentasi

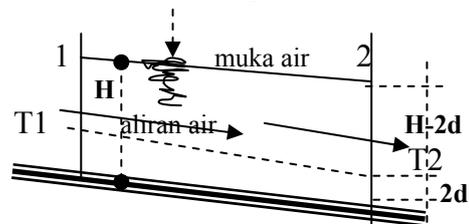
### a.Konsep dasar sedimen

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan dari material berupa partikel sedimen yang terbawa oleh aliran sungai material tersebut dapat terangkut kembali, apabila kecepatan aliran cukup tinggi. Besarnya volume sedimen terutama tergantung dari perubahan kecepatan aliran, karena perubahan pada musim penghujan, maupun musim kemarau, serta perubahan kecepatan yang dipengaruhi aktivitas manusia. (Soewarno, 1991). Sebagai akibat dari perubahan volume sedimen adalah terjadi terjadinya penggerusan (*degredasi*) di beberapa tempat serta pendangkalan (*agradasi*) di tempat lain pada dasar sungai, dengan demikian pada umumnya bentuk dasar sungai akan berubah. Apabila air mengalir pada suatu alur (sungai atau saluran), maka air tersebut akan menyebabkan pengikisan (*scour*) pada permukaan tanahnya. Partikel-partikel tanah yang berupa lumpur (*sediment*), kerikil, maupun kerikil agak besar diameternya dapat terlepas dari dasar alur (*bed*) atau tebing (*bank*), partikel tersebut akan terbawa oleh aliran air dan peristiwa ini lazim disebut "Pengangkutan sedimen (*Sediment Transport*)". Untuk memperkirakan perubahan itu telah banyak dikembangkan rumus-rumus berdasarkan percobaan lapangan maupun laboratorium hidrolika. Untuk aliran *turbulen*, struktur aliran hanya dapat diberikan dengan cara empiris. Begitu juga dengan gerakan partikel atau butiran. Hampir semua perobaan yang telah ada diperoleh dari argumentasi fisika yang umum (Soejadi, 1991). Dari uraian tersebut diatas sebagai tujuan pokoknya adalah tentang pengangkutan sedimen untuk mengetahui pada keadaan tertentu, apakah terjadi erosi,

pengendapan atau terjadi angkutan seimbang (*Equilibrium transport*)

### b.Proses Hidrolika.

Proses hidrolika dapat digambar seperti pada Gambar 1. yaitu perpindahan tempat bahan sedimen *granulair non kohesif* oleh air yang mengalir dinyatakan banyaknya dengan berat massa, atau volume per satuan waktu.



Gambar 1. Hidrolika Sungai

Jika banyaknya angkutan sedimen  $T$  maka satuannya bisa  $N/det$  (*Newton per detik*) dimana  $1kg \text{ gaya} = 9,76 N$

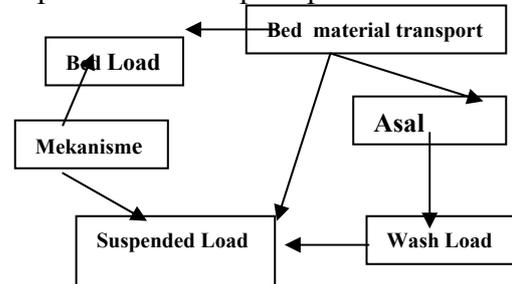
### c.Mekanisme Pengangkutan

#### Sedimen.

Didasarkan pada mekanisme pengangkutannya dapat dibedakan atas dua jenis:

- Sedimen dasar alur (*Bed Load*)
  - Sedimen layang (*Suspended Load*)
- Sesuai dengan asal dari material terangkut, angkutan sedimen mempunyai sifat angkutan sebagai berikut :
- Angkutan material dasar alur (*Bed Material Transport*)
  - Muatan tercuci (*Wash Load*)

Didalam proses terjadinya sedimen pada aliran alur sungai (palung sungai) dapat diketahui seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme pengangkutan Sedimen

Garis batas yang membedakan gerakan *bed load* dan *suspended load* tidaklah dapat ditetapkan dengan pasti, namun Einstain memberikan perkiraan lapisan dasar mempunyai ketebalan  $2d$

sebagai lapisan *bed load* seperti gambar 1. Peristiwa Bergeraknya material dasar alur adalah akibat adanya gaya seret yang ditimbulkan oleh aliran air pada dasar saluran, gaya ini adalah suatu tarikan air pada penampang basah yang disebut sebagai unit *tractive force*.

Besarnya gaya seret dinyatakan dengan perumusan :

$$\tau_o = \gamma . R . S$$

Bila kecepatan aliran kecil, material dasar alur tidak / bergerak dan bila kecepatan bertambah secara bertahap pada suatu saat sebagian material dasar alur akan mulai bergerak, gerakan ini dinamakan gerakan awal sedimen (*incipient motion*), sedangkan kecepatan aliran pada butiran (*critical shear velocity*) =  $U_{cr}$  dan Gaya seret yang terjadi adalah Gaya seret kritis (*critical tractive force*). Hal yang terkait dengan

tersebut menurut Tsubaki dan Furuya telah dijadikan perumusan :

$$U/U^* = 5,75 . \text{Log} (R/K_s) + 6$$

sehingga distribusi pada keadaan kristis adalah :

$$U_{cr}/U^*_{cr} = 5,75 \text{ Log} ( R/K_s) + 6$$

Shieds memberikan hubungan antara batas angka Reynold ( $Re$ ) dengan  $\tau_{cr}$  dan  $U_{cr}$ , yang persamaannya sebagai berikut

$$Re = U^* . d / \zeta = 11,6 . d / \zeta$$

butiran sedimen dapat diketahui dari perbandingan

$\tau_o$  dengan  $\tau_{cr}$  dan  $U^*$  dengan  $U^*_{cr}$ . jika ketentuan sebagai berikut:

$\tau_o > \tau_{cr}$  -----> butir bergerak

$\tau_o < \tau_{cr}$  -----> butir diam

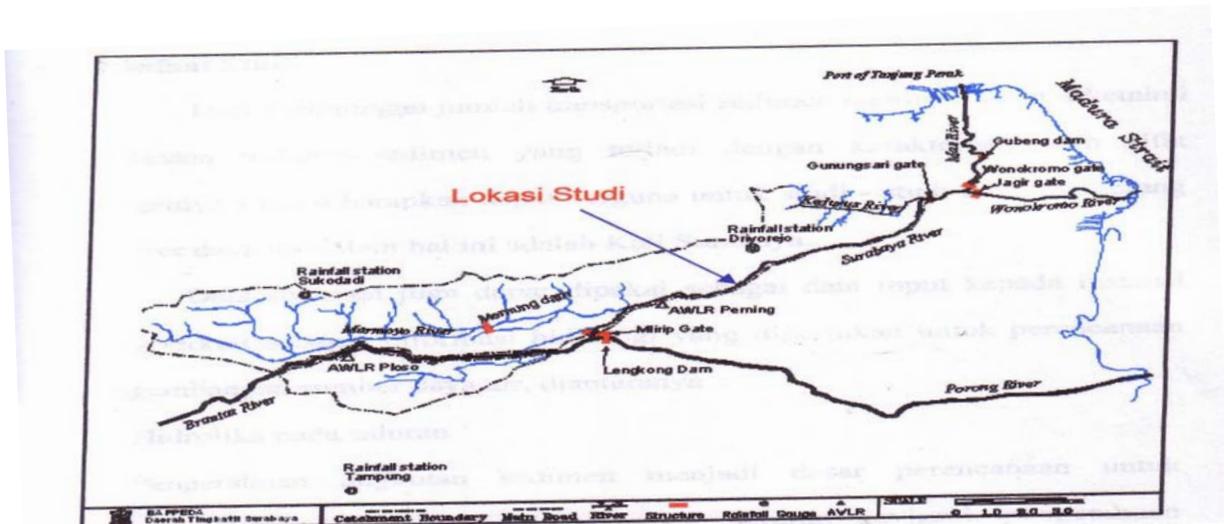
$U^* > U^*_{cr}$  -----> butir bergerak

$U^* < U^*_{cr}$  -----> butir diam

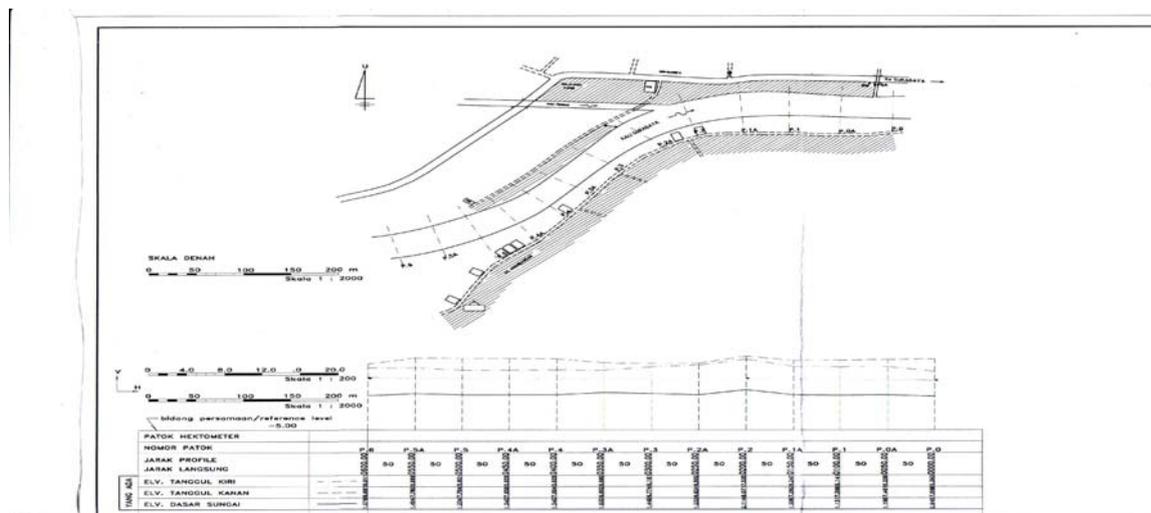
Tabel . 1 Hubungan antara temperatur (T) dengan kekentalan Kenematik ( $\zeta$ )

T	0	5	10	15	20	25	30	35	40	° C
$\zeta$	1,79	1,52	1,3	1,14	1,01	0,90	0,80	0,72	0,65	$10^{-6} \text{m}^2/\text{dt}$

Sumber : Dinas Pengairan RI



Gambar 3. Peta Lokasi Kajian / Studi dalam Penelitian (Kali Surabaya)



Gambar 3. Lokasi Kajian Kali Surabaya Gunungsari-Wonokromo

#### d. Karakteristik Angkutan Sedimen.

Untuk mengetahui karakteristik angkutan sedimentasi, perlu diketahui pola aliran sungai pada Kali Surabaya (di daerah Gunungsari) dengan mengadakan pembagian daerah berdasarkan kemiringan sungai/elevasi ketinggian dasar sungai (*Cross Section*) pada pembagian daerah hasil penelitian terdahulu (Agung.C, 2006) seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Pembagian kemiringan pada daerah Kali Surabaya

Tabel : 2. Bagian kemiringan Kali Sby.

No.U	Nama Daerah	Elevasi	Landai	Keterangan
1.	Daerah 0	600m		
2.	Daerah I			
3.	Daerah II			
4.	Daerah III			

#### e. Data-data Sedimen

Analisa gradasi butiran sedimen diperoleh dari laboratorium proyek Penanggulangan bencana Alam Gunung dan Banjir. Dalam analisa gradasi sedimen ialah dengan mengambil sampel tanah di hilir *over flow* kantong sedimen atau hasil erosi pada lahan-lahan gundul, kemudian diperiksa di laboratorium mekanika tanah untuk ditetapkan besaran butir-butir (gradasi), agar penentuan kecepatan waktu bersamaan dengan aliran dapat diketahui kecepatannya.

#### f. Analisa Sedimen

Dalam perhitungan angkutan sedimen total (*bed material load*) dicoba dengan metode (1) Meyer, Peter dan

Muller; (2) Enggulend dan Hasen; (3) Akers and Whitev Perhitungan total angkutan sedimen disini, dihitung dalam dua tahap yaitu sebelum dan sesudah adanya usaha penanggulangan material sedimen yang terjadi, yang dilaksanakan oleh Proyek Brantas Hilir. Setelah ada usaha penanggulangan akibat bencana banjir rutin, dan dengan cara model pengelontoran, maka kemiringan dasar sungai akan berubah, Permasalahan yang ada sesudah dan sebelum pengendalian sedimen ini adalah terletak pada kemiringan dasar sungai. Dari hasil perhitungan total angkutan sedimen dapat dihitung dengan perumusan :

$$H = (n \cdot Q / B \sqrt{I})^{0.6} ; \text{Untuk } B > 10.H$$

$$U = Q/A$$

$$U^* = \sqrt{g \cdot H \cdot I}$$

$$D_{gr} = D \left[ \frac{g(s-1)}{\zeta^2} \right]^{1/3}$$

$$F_{gr} = U^* \cdot n' \cdot (U^*)^{1-n'} / \sqrt{g \cdot D(s-1)}$$

$$U^* = U_{rata-rata} / 5,64 \cdot \log(10H/D)$$

$$G_{gr} = c [F_{gr}/A' - 1]^m$$

$$S = G_{gr} \cdot U_{rata-rata} \cdot D (U_{rata-rata}/U^*)^{n'}$$

$$\text{Untuk material kasar } (D_{gr} > 60) \quad n=0$$

$$c = 0,0247 \text{ dan } U^* = U^*$$

c, A', n' dan m = parameter yang berhubungan dengan harga  $D_{gr}$  yang didapat dari :  $c = 10^{[2,86 \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3,53]}$

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### • Debit banjir rencana

Hasil perhitungan debit banjir rencana dengan kala ulang 10 (sepuluh)

tahun yaitu tahun 1994 – 2004, dilakukan metode Theissen dengan *Log Person Type III*, sesuai daerah aliran Sungai Surabaya yang terdekat di daerah Gunungsari dan Wonokromo, menunjukkan besaran 81,856 m<sup>3</sup>/dt, debit ini mengalir di Kali Surabaya merupakan hasil debit banjir rencana akibat air hujan, yang dipakai dasar perencanaan perhitungan penampang basah yang ada dilapangan, ternyata dari data analisis tersebut diatas menunjukkan bahwa dimensi (ukuran) saluran Kali Surabaya, mampu penampung debit aliran akibat air hujan di daerahnya, debit aliran ini belum termasuk tambahan sedimentasi dan air kiriman dari daerah Kali Brantas Mojokerto.

Untuk mengurangi debit air kiriman dari Kali Brantas Mojokerto dapat dikendalikan lewat pengoperasian bangunan-bangunan Dam/Cek Dam yang berada sepanjang Dam Mlirip (Mojokerto) sampai dengan Dam Jagir (Surabaya), Gambar 4 dan 5, sedangkan untuk besaran Debit sedimen yang terjadi perlu pendataan secara priodik lewat perhitungan yang telah ditentukan dalam Kajian penelitian ini.

#### ● **Debit Sedimentasi**

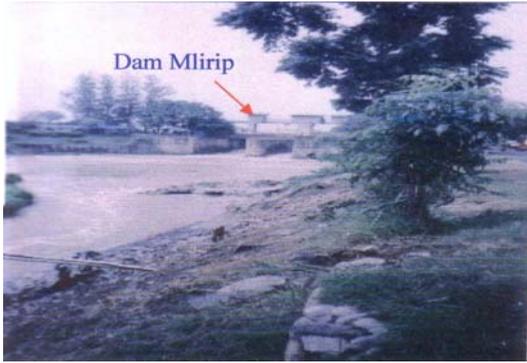
Setelah menganalisa tiap-tiap penampang di Kali Surabaya pada daerah Gunungsari-Wonokromo, diketahui sifat-sifat dan karakteristiknya dan menganalisa material sungai dalam penentuan sifat endapan (sedimentasi), selanjutnya dilakukan perhitungan *transport sediment* dengan jarak setiap 300 meter penampang (Po, P3,P6,P9,P12,P15) gambar terlampir, menggunakan 3 (tiga) metode yang telah ditentukan pada Kajian kepustakaan :

Hasil Debit sedimentasi rata-rata pertahun 53,512 m<sup>3</sup>/dt, yang terjadi di daerah Kali Surabaya tahun 2006 (Dam Mlirip Mojokerto-Dam Jagir Surabaya), Sedangkan dari hasil penelitian dengan memakai perumusan (1);Meyer, Peter dan Muller, (2) Enggulend dan Hasen, (3) Acker dan White masing-masing

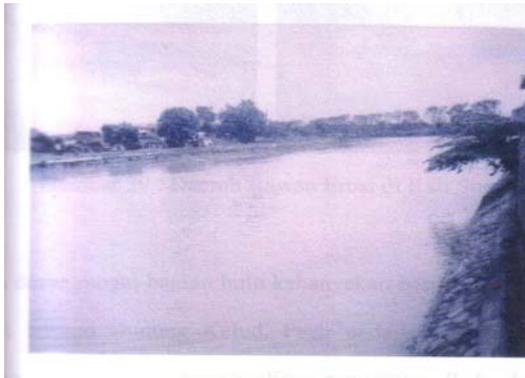
menunjukkan hasil seperti berikut : (1) terbesar 16,0142 m<sup>3</sup>/detik, dan terkecil 0,0084 m<sup>3</sup>/hari; (2) terbesar 202,3869 m<sup>3</sup>/hari dan terkecil 0,0437 m<sup>3</sup>/hari dan (3) terbesar 40,7085 m<sup>3</sup>/hari dan terkecil 0,0821 m<sup>3</sup>/hari. Jika dari ketiga ini diambil yang maksimal yaitu kejadian sedimen = 202,3869 m<sup>3</sup>/tahun dan minimal =0,0437.m<sup>3</sup>/tahun, berarti volume sedimentasi yang terjadi pada tiap-tiap tahun, supaya tidak mengakibatkan luapan air atau lumberan aliran air, besaran debit volume kejadian sedimentasi pada sepanjang Kali Surabaya, diperlukan kejadian perhitungan besaran volumen sidimentasi secara priodik di Kali Surabaya, agar data untuk mengimbangi (*balance sediment* terhadap aliran air lumberan) dapat diketahui, dan hasil data-data yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dipakai sebagai data tambahan pendukung untuk mengatasi (antisipasi) akan terjadinya banjir kedepan. Jika data sedimen tersebut diambil yang maksimal sebesar 202,3869 m<sup>3</sup>/hari atau 0,0023 m<sup>3</sup>/dt (untuk di Daerah Gunungsari – Wonokromo) dan secara total rata-rata pertahun 53,512 m<sup>3</sup>/dt (Mojokerto-Wonokromo), maka kejadian ini secara priodik/kumulatif merupakan tambahan debit yang perlu diperhatikan dalam perhitungan penanggulangan banjir yang terjadi masa akan datang.

#### ● **Mekanisme Pengangkutan sedimentasi**

Kali Surabaya merupakan salah satu cabang Kali Brantas dibagi menjadi dua bagian yaitu Kali Porong dan Kali Surabaya, sampai di Surabaya di Wonokromo pecah /dibagi menjadi Kali Mas dan Kali Jagir (Wonorejo) masing-masing bermuara di Selat Madura. Kali Surabaya mengalir sepanjang ± 42 km dari Kota Mojokerto, khusus untuk keperluan penelitian ini diambil pada lokasi daerah Kali Surabaya (Gunungsari dan Wonokromo) seperti Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Daerah hulu Kali Surabaya Dam Mlirip Mojokerto



Gambar 5. Derah hilir Kali Surabaya Gunungsari-Wonokromo

Menurut pembentukannya Kali Surabaya merupakan sungai alluvial, hal ini ditandai dengan banyaknya sedimen pada dasar sungai dan adanya pulau-pulau gosong dari pasir gundukan, sedimen dasar yang muncul kepermukaan dasar sungai, didaerah hulu diakibatkan pengaruh aktivitas Gunung Kelud merupakan salah satu gunung berapi yang masih aktif, akibat dari letusannya beberapa ratus tahun lampau menghasilkan ratusan juta meter kubik ( $m^3$ ) material yang terlempar ke lereng-lereng gunung beransur-ansur terbawa masuk kedalam Kali Brantas dan cabang-cabang termasuk ke Kali Surabaya. Masuknya sedimen dari aliran Sungai Brantas berasal dari akibat aliran Waduk Sutami dan hasil letusan dalam jumlah besar akan menyebabkan bekurangnya/perubahan bentuk palung (penampang) sungai, yang dibarengi kenaikan dasar sungai. Hal ini menyebabkan tidak tersedianya air dalam

jumlah yang memadai pada musim kemarau dan sebaliknya pada musim penghujan terjadi banjir. Proses pengangkutan sedimen ini sesuai mekanisme yang ditunjukkan pada Gambar 5.

#### • Karakteristik Angkutan sediment

Untuk mengetahui karakteristik angkutan sedimen tergantung dari pola aliran sungai yang terjadi di Kali Surabaya khususnya pada daerah Gunungsari-Wonokromo, dengan mengadakan pembagian daerah berdasarkan kemiringan sungai / elevasi ketinggian dasar sungai (Gambar 6. lampiran). Hal ini disebabkan karena karakteristik angkutan sedimen sangat ditentukan prosentase kelongsoran deposit (material sedimen) dan kemiringan dasar ini dapat dibedakan seperti Tabel 5. Berdasar kemiringan dasar

Tabel 5. Kemiringan Dasar Sungai

No.U	Kemiringan dasar	Bentuk Aliran yang terjadi
1	20%	Debris
2	50%	Kelongsoran Tebing
3	80%	Gerak Jatuh batu

Dalam mengevaluasi pergerakan butiran sedimen dapat diketahui dari perbandingan

$\tau_0$  dengan  $\tau_{cr}$  dan  $U^*$  dengan  $U^*_{cr}$ . jika ketentuan sebagai berikut butir:

$\tau_0 = 0,2 > 0,02 = \tau_{cr} \rightarrow$  bergerak

$\tau_0 = 0,2 < 0,25 = \tau_{cr} \rightarrow$  diam

$U^* = 0,31 > 0,25 = U^*_{cr} \rightarrow$  bergerak

$U^* = 0,031 < 0,43 = U^*_{cr} \rightarrow$  diam

Dalam penelitian ini yang terjadi di Kali Surabaya Gunungsari-Wonokromo termasuk Bentuk Aliran Debris, karena kemiringan sungai pada daerah Kali Surabaya Gunungsari dan Wonokromo dasar kemiringan sungai  $< 20\%$ .

#### • Analisa Sedimentasi

Dalam perhitungan angkutan sedimen Total (*bed material load*) dicoba dengan 3 (ketiga) metode yaitu : Hasil Debit sedimentasi rata-rata pertahun 53,512  $m^3/dt$ , yang terjadi di daerah

Kali Surabaya tahun 2006 (untuk Dam Mlirip Mojokerto-Dam Jagir Surabaya), Sedangkan dari hasil penelitian dengan memakai perumusan (1); Meyer, Peter dan Muller, (2) Enggulend dan Hasen, (3) Acker dan White masing-masing menunjukkan hasil seperti berikut : (1) terbesar 16,0142 m<sup>3</sup>/detik, dan terkecil 0,0084 m<sup>3</sup>/hari; (2) terbesar 202,3869 m<sup>3</sup>/hari dan terkecil 0,0437 m<sup>3</sup>/hari dan (3) terbesar 40,7085 m<sup>3</sup>/hari dan terkecil 0,0821 m<sup>3</sup>/hari. Jika dari ketiga ini diambil yang maksimal yaitu kejadian sedimen = 202,3869 m<sup>3</sup>/tahun dan minimal = 0,0437 m<sup>3</sup>/tahun.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### • Kesimpulan

Dari perhitungan debit Banjir rencana yang dipakai sebagai kontrol terhadap dimensi saluran Sungai Kali Surabaya, memakai perhitungan kala ulang 10 tahun, yaitu tahun 1994 - 2004 Hasil Debit sedimentasi rata-rata pertahun 53,512 m<sup>3</sup>/dt, yang terjadi di daerah Kali Surabaya tahun 2006, Sedangkan dari hasil penelitian dengan memakai perumusan (1); Meyer, Peter dan Muller, (2) Enggulend dan Hasen, (3) Acker dan White masing-masing menunjukkan hasil seperti berikut : (1) terbesar 16,0142 m<sup>3</sup>/detik, dan Kali Surabaya, sehingga untuk mengimbangi (*balance sediment* dan aliran air lumbran), dan hasil data-data yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dipakai sebagai pendukung data untuk mengatasi (antisipasi) akan terjadinya banjir.

### • Saran

Untuk mencegah pendangkalan sungai Kali Surabaya dengan adanya sedimentasi akibat banjir kiriman yang berasal dari daerah hulu, yang melewati daerah-daerah pengunungan sebagian besar sudah gundul dan telah banyak didirikan perumahan baru, maka untuk mencegah hal tersebut diatas diperlukan rutinitas program pengelotoran pada

setiap 10 tahun , sehingga pendangkalan dapat terkontrol dan kualitas air sungai akan terjaga dari persyaratan untuk digunakan sebagai bahan baku Air Minum menurut SNI.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Anonymous. 1987. *Bendungan Besar di Indonesia*. Jakarta Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan Departemen Pekerjaan Umum.
- \_\_\_\_\_ 1999. *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan*, Volume III (Desain pondasi&tubuh bendungan). Jakarta PU Dirjen Pengairan Direktorat Bina Teknik Irrigation Engineering Service Center Bersama Japan International Coope ratio Agency JICA.
- Bowles, J.E. 1991. *Sifat-sifat Fisis dan Geo Teknis Tanah (Metan)*, Erlangga, Jakarta.
- Cedergren, H.R. 1989. *Seepage, Drainage, And Flow Nets*, John Wiley & Sons. Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Das, BM. 1988. *Principles of Geotechnical Engineering*, PWS Publisher. Endah, N. & Mochtar, I.B. (penerjemah). 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, PT. Gelora Aksara Pratama, Surabaya.
- Kasiro, 2003. *Perilaku & Stabilitas Rembesan air Bendungan Krisak*, Jateng Sebelum dan Sesudah Perbaikan, *Jurnal PIT IX HATHI*, Senggigi – NTB.
- Najoan Theo F. dan Carlina Soetjiono. 1993. *Instrumen tasi Geoteknik dalam Evaluasi Keamanan Bendungan Tipe Urugan*, J. Penelitian & Pengembangan Pengairan Th. 7 KW IV(26): 1.
- Richard dan Sebayang, N. 1998. *Zona Pelindung dan Pencegah Bocoran Pada Bendungan Urugan Batu Permukaan lapis beton (Concrete*

- Fage Rockfill Dam*), *Jurnal PIT XV HATHI*, Bandung.
- Schuring, D.J. 1997. *Scale Models in Engineering*, A Wheaton and Co., Buffalo New York
- .Soetjiono, C.dan Sunarto. 1998. *Metode Pengurugan Bertahap Bendungan Tipe Urugan di atas Pondasi Bertanah lunak Kecamatan Balikpapan Utara*, Katim Timur, *Jurnal PIT XV HATHI*, Bandung.
- Sulisz, W. 1995. *Effect of Permeability on Stability of Rubble Base*, Journal of Waterway, Port, Coastal and ocean Engineering, Polandia
- Thien NTM, Fredhud M.D, Fredlud D.G, Hung V.Q, (2001). *Speepage modeling in saturated/Unsaturated*, Journal Internasional Conference on Management of The land Water Resources, Hanoi Vietnam.
- Verruijt. 1969. *Theory of Groundwater Flow*, Delft University of Technology, The Netherlands.
- Wardhana. 2002. *Matematika Teknik*. Unipres Brawijaya, Malang.
- Zhang.L, Yu .X, Hu.T. 1998. Optimization of compaction zoning in loess embankments. Journal Departemen of Civil Engineering, University of Florida.