

## KAJIAN PENGARUH *UNDERWATER SILL* TERHADAP POLA ALIRAN DAN POLA ANGKUTAN SEDIMEN

Maya Felice Telussa

Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik,  
Universitas Kristen Indonesia Maluku

### ABSTRAK

Problem pendangkalan akan terjadi bilamana kolam labuh dan alur pelayaran berada pada daerah *surf zone*. Untuk mempertahankan kedalaman alur pelayaran dan kolam labuh tersebut biasanya dilakukan pengerukan (*maintenance dredging works*). Pengerukan yang terlalu sering (dengan periode yang pendek) selain biayanya cukup mahal, kegiatan tersebut akan mengganggu aktivitas pelabuhan. Untuk itu perlu dipikirkan cara yang tepat dan ekonomis untuk melindungi kawasan pelabuhan. Salah satu konstruksi penahan sedimen adalah *underwater sill*. *Underwater sill* adalah bangunan bawah air yang berfungsi membelokkan aliran transport sedimen agar tidak memasuki alur pelayaran yang dirawat.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap *underwater sill*, model persegi. Tinggi *underwater sill* ini yaitu 10cm, 11cm, 12cm, 13cm, 14cm dan 15cm. Namun panjang dan lebarnya tetap yaitu 40 cm untuk panjangnya dan 20 cm untuk lebarnya. Pengujian untuk melihat bagaimana pola aliran yang terjadi dan kemudian dari pola aliran ini diadakan perhitungan untuk mengetahui debit sedimen didalam maupun dibagian luar bangunan.

Dari hasil penelitian diketahui bahwa kecepatan aliran dengan *underwater sill* bertambah besar pada bagian luar bangunan, sehingga debit sedimen yang lewat juga besar karena debit sedimen merupakan fungsi dari debit aliran. Dari hasil analisis, bentuk bangunan ini bisa mengurangi sedimen yang melewatinya. Makin tinggi struktur UWS makin efektif melindungi kawasan dalam UWS. Pada tinggi UWS  $\approx \frac{h}{d} = 0,75$ , secara pendekatan teoritis dapat mengurangi angkutan sedimen sebesar 20 sampai 30%.

Kata kunci : *Underwater sill*, arus, sedimen.

### 1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia adalah negara yang berbentuk kepulauan yang memiliki laut yang sangat luas. Laut dengan keanekaragaman biota dan keindahan yang dimilikinya merupakan sumber daya alam yang sangat potensial untuk mendukung perekonomian bangsa dan menambah devisa negara. Disamping itu laut menjadi prasarana transportasi antar pulau, yang sebagian masyarakat masih menggunakannya. Potensi kekayaan laut ini tidak akan dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa adanya penguasaan ilmu dan teknologi terkait.

Untuk dapat memanfaatkan secara optimal potensi-potensi kelautan yang ada, perlu pemahaman dan penguasaan aspek-aspek kelautan dan sarana-sarana pendukungnya. Pelabuhan adalah salah satu prasarana yang sangat penting dalam kegiatan transportasi laut. Agar pelabuhan dapat beroperasi dengan baik, alur pelayaran dan kolam pelabuhan harus memiliki kedalaman yang cukup sehingga kapal-kapal besar dapat berlabuh dan menggunakan fasilitas-fasilitas pelabuhan yang ada. Endapan sedimen berlebihan dapat mengganggu kegiatan navigasi kapal dan mengurangi fungsi pelabuhan. Pengerukan sampai saat ini merupakan teknologi yang umum digunakan untuk mengatasi pendangkalan di pelabuhan, tapi membutuhkan biaya yang cukup besar. Untuk itu perlu dipikirkan cara yang tepat dan ekonomis untuk melindungi kawasan pelabuhan. Salah satu konstruksi penahan sedimen adalah *underwater sill*.

Untuk mendukung perencanaan konstruksi tersebut, maka perlu diketahui bagaimana pola aliran yang bekerja pada suatu *underwater sill*. Selain itu kegiatan perencanaan konstruksi tersebut

perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh bentuk bangunan dibawah laut (*underwater sill*) terhadap pola aliran dan pola angkutan sedimen.

Adapun Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bangunan *underwater sill* yang berbentuk setengah lingkaran dan persegi terhadap pola aliran dan pola angkutan sedimen dan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. sebagai acuan dasar untuk perencanaan bangunan bawah air, baik dalam pemilihan bentuk konstruksi maupun dalam memperhitungkan pola aliran yang terjadi,
2. menambah khasanah pustaka mengenai pengaruh bentuk *underwater sill* terhadap pola aliran dan pola angkutan sedimen,
3. sebagai penelitian awal yang memungkinkan diadakannya penelitian-penelitian yang lebih lanjut dengan tinjauan yang lebih lengkap.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Umum

Pengendapan sebagai salah satu tahap proses sedimentasi adalah suatu fenomena yang sering terjadi di daerah pantai dan muara sungai. Sedimentasi tidak dapat dipisahkan dengan erosi, dimana dalam kondisi yang tidak seimbang erosi dan sedimentasi dapat menimbulkan permasalahan. Sebagai contoh erosi yang terjadi pada bangunan lepas pantai, pipa-pipa dasar laut dan di pangkal pemecah gelombang dapat mempercepat kerusakan bangunan-bangunan tersebut. Sementara pengendapan yang terjadi di kolam pelabuhan dan alur pelayaran dapat mengurangi kedalaman air dan mengganggu lalu lintas kapal yang menggunakan pelabuhan.

Permasalahan pengendapan dapat ditanggulangi dengan pengerukan. Namun pekerjaan ini sangat mahal sehingga prediksi yang tepat berapa tingkat pengendapan yang akan terjadi sangat penting. Pada proyek pembangunan pelabuhan, biaya pengerukan harus dipertimbangkan untuk mendapatkan desain yang optimal. Pengetahuan tentang aspek-aspek yang mempengaruhi sedimentasi sangat dibutuhkan untuk mendapatkan pemahaman yang menyeluruh tentang transport sedimen pantai. Pergerakan air pada dasarnya dapat dibedakan yaitu karena arus, gelombang atau gabungan arus dan gelombang. Arus dan gelombang adalah parameter penting dalam transport sedimen pantai. Arus berperan utama dalam kecepatan transport, sedangkan gelombang pada jumlah material yang ditranspor. Tetapi hal ini tidak berlaku mutlak karena gelombang dapat menyebabkan arus transport sedimen, demikian juga sebaliknya arus tertentu dapat membawa dan mengaduk material transport.

### Pelabuhan

Pelabuhan adalah prasarana utama dalam navigasi kelautan, yang berfungsi antara lain sebagai terminal atau tempat transit kapal dalam proses menaikturunkan barang atau penumpang, tempat pengisian bahan bakar, reparasi kapal, dan penyiapan perbekalan (Triatmodjo, 1996). Berbagai kelengkapan yang ada di pelabuhan misalnya bangunan pemecah gelombang, alur pelayaran, kolam pelabuhan, dermaga, alat tambat, gudang, fasilitas bongkar muat, dan lain sebagainya harus dibuat sesuai dengan fungsi dan tujuan pelabuhan tersebut

Untuk mendapatkan kondisi operasional yang ideal, kedalaman alur harus cukup dalam sehingga memungkinkan untuk kegiatan pelayaran pada muka air terendah dengan kapal bermuatan penuh. Kedalaman alur ditentukan oleh beberapa faktor dan kedalaman total dirumuskan sebagai berikut :

$$H=d+G+R+P+S+K \quad (1)$$

dimana :

d : *draft* kapal

G : gerak vertical kapal karena gelombang

R : ruang kebebasan bersih

P : ketelitian pengukuran

S: pengendapan sedimen antara 2 pengerukan

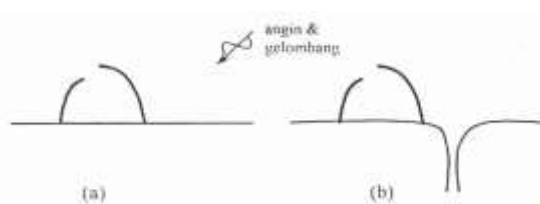
K : toleransi pengerukan

Lebar alur ditentukan dengan beberapa pertimbangan diantaranya lebar, kecepatan dan gerakan kapal, alur rencana untuk satu jalur atau dua jalur kapal, kedalaman alur, stabilitas tebing, dan pengaruh angin, gelombang serta arus balik sejajar atau melintang alur.

Kolam pelabuhan harus tenang, mempunyai luas dan kedalaman yang cukup sehingga memungkinkan kapal berlabuh dengan aman dan memudahkan bongkar muat barang. Selain itu tanah dasar harus cukup baik untuk bias menahan anker dari pelampung penambat. Kedalaman kolam pelabuhan diperhitungkan terhadap gerak kapal karena pengaruh alam seperti angin, gelombang dan pasang surut.

Proses erosi dan sedimentasi di pantai tergantung pada sedimen dasar serta pengaruh hidrodinamika gelombang dan arus. Jika dasar laut terdiri dari material yang mudah bergerak, maka arus dan gelombang akan mengerosi sedimen dan membawanya searah dengan arus. Apabila kecepatan arus berkurang (misalnya di perairan pelabuhan), maka arus tidak lagi mampu mengangkat sedimen sehingga akan terjadi sedimentasi di daerah tersebut.

Salah satu upaya untuk mengurangi sedimen di pelabuhan adalah membuat layout pemecah gelombang sedemikian rupa sehingga sedimen sulit masuk ke perairan pelabuhan (gambar 1). Dalam gambar 1a mulut pelabuhan dibuat tidak menghadap transport sedimen sepanjang pantai. Sedimen yang bergerak ke kiri terhalang oleh pemecah gelombang dan mengendap ditempat tersebut. Dalam gambar 1b layout pemecah gelombang dibuat untuk menanggulangi sedimen suspensi yang menyebar di pantai. Mulut pelabuhan menghadap ke kiri sehingga bila terjadi sedimentasi oleh arus dari sebelah kanan dapat tertahan dan tidak mudah masuk ke pelabuhan. Meskipun demikian karena sifat sedimen suspensi yang mudah terbawa arus, maka sedimen masih dapat masuk ke pelabuhan tapi jumlahnya lebih sedikit.



**Gambar 1.** Penataan layout pemecah gelombang untuk pengendalian sedimen

Bangunan lain yang dapat dibuat untuk menahan sedimen adalah *groyne* dan *jetty*. *Groyne* adalah bangunan yang menjorok dari arah pantai ke laut, yang digunakan untuk menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga transport sedimen sepanjang pantai berkurang/terhenti (Triatmadja, 1999). *Groyne* dapat berupa bangunan tunggal atau dibuat secara seri, yaitu beberapa *groyne* dibuat dengan jarak antar *groyne* tertentu disepanjang pantai yang dilindungi. *Jetty* adalah bangunan tegak lurus garis pantai yang ditempatkan di kedua sisi muara sungai. Bangunan ini untuk menahan pasir/sedimen yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap disungai.



**Gambar 2.** Beberapa bangunan penahan sedimen pantai

Pemeliharaan alur dengan pengerukan rutin (*maintenance dredging works*) selain biayanya relatif mahal, dan disamping itu kegiatan tersebut dapat mengganggu pelayaran/pelabuhan

(Yuwono, 2001). Salah satu upaya untuk mengurangi sedimen di pelabuhan adalah membuat bangunan penahan sedimen selain groin dan jetty sedemikian rupa sehingga sedimen sulit masuk ke perairan yang dilindungi. Seperti yang terjadi dipelabuhan PT semen Gresik di Tuban, setelah dilakukan evaluasi mengenai rencana pengembangan kolam labuh maka diputuskan harus dibuat *underwater sill* di sekeliling kolam labuh untuk mengurangi proses pengendapan sedimen di kolam labuh.

### **Konsep Pengendapan sedimen**

Transport sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transport sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi transport menuju dan meninggalkan pantai (*onshore – offshore transport*) dan transport menyusur pantai (*longshore transport*). Transport menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus pantai, sedangkan transport menyusur pantai mempunyai arus rata-rata sejajar pantai (Triatmodjo, 1999). Berbeda dengan transport sedimen di sungai, angkutan sedimen yang terjadi di pantai merupakan akibat dari gabungan arus osilasi gelombang dengan aliran searah yang berupa arus sejajar pantai (*longshore current*), sirkulasi pantai (*nearshore circulation*), arus balik (*rip current*) dan arus bawah (*undertow*). Gabungan arus-arus tersebut ditambah dengan olakan turbulensi oleh gelombang pecah menjadikan angkutan sedimen dipantai sangat dinamis (Nizam, 1999).

Sedimen dapat diklasifikasikan sebagai angkutan sedimen dasar (*bed load*) dan angkutan sedimen melayang (*suspended load*). Sedimen dasar (*bed load*) yaitu butiran yang bergerak di dasar baik secara menggelinding (*rolling*), menggeser (*sliding*) ataupun melompat (*saltating*). Sedangkan sedimen suspensi (*suspended load*) adalah butiran atau partikel yang bergerak diatas dasar secara melayang. Permasalahan sedimen akan dikaji dari pola aliran. Pendekatan ini ditempuh karena, pemodelan sedimen cukup sulit dilakukan. Tingkat kesulitannya terutama dalam penentuan diameter sedimen di model. Sebagai contoh, jika diameter pasir di lapangan  $(D_{50})_p = 0,25$  mm dan menggunakan skala model 1 : 25, maka diameter pasir pada model  $(D_{50})_m = 0,25/25 = 0,01$ mm. Dengan demikian, sangat sulit untuk mendapatkan diameter model yang sesuai. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini, pengendapan sedimen akan dikaji dari kecepatan aliran.

### **Sifat-sifat Sedimen Pantai**

Pengetahuan sifat-sifat sedimen sangat penting dalam analisis sedimentasi. Beberapa sifat sedimen yang penting adalah :

#### a) Ukuran partikel sedimen.

Beberapa diameter yang digunakan untuk mendefinisikan sedimen yaitu :

1. diameter kisi/saringan yaitu diameter/ukuran lubang saringan persegi minimum yang dilalui butiran,
2. diameter sedimentasi yaitu diameter bola yang mempunyai kecepatan endap dan rapat massa yang sama dengan partikel, dalam kondisi zat cair yang sama,
3. diameter nominal yaitu diameter bola yang mempunyai volume dan rapat massa yang sama dengan partikel.

#### b) Bentuk.

Beberapa definisi yang digunakan untuk mengetahui karakteristik bentuk butiran yaitu :

1. *sphericity*, yaitu perbandingan luas permukaan bola yang mempunyai volume dan luas permukaan yang sama dengan partikel,
2. *roundness*, yaitu perbandingan antara jari-jari rerata dari ujung-ujung partikel dengan jari-jari lingkaran yang melalui luasan maksimum dari butiran,
3. *shape factor ( SF)*, yaitu perbandingan antara panjang sumbu-sumbu partikel.

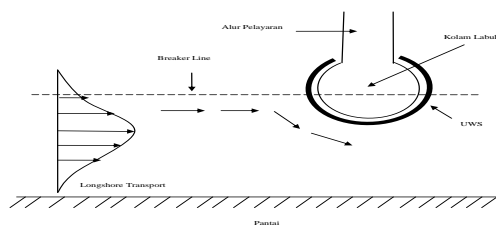
c) Rapat massa, berat jenis, rapat relatif

Rapat massa (*density*)  $\rho$  adalah massa tiap satuan volume, sedangkan berat jenis  $\gamma$  adalah berat tiap satuan volume. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa, yaitu  $\gamma = \rho \cdot g$ . Rapat massa atau berat jenis adalah fungsi dari komposisi mineral.

d) Kecepatan endap, adalah parameter penting transpor sedimen yang mempengaruhi sedimentasi dan konfigurasi dasar.

### ***Underwater Sill***

Bangunan bawah air (*underwater sill*) adalah bangunan yang berfungsi untuk menahan lumpur dan melindungi kolam labuh dari pendangkalan. Bangunan ini dipasang pada tepi sepanjang alur dan sekeliling kolam labuh. Dengan adanya bangunan *underwater sill*, lumpur atau pasir halus dapat dicegah atau dikurangi volumenya, dengan demikian biaya perawatan alur atau kolam labuh dapat dihemat (lihat Gambar 3). Untuk perencanaan konstruksi terutama stabilitas struktur dibawah air, diperlukan besaran gaya yang diakibatkan oleh gelombang dan gaya-gaya yang melawan gaya gelombang tersebut.



**Gambar 3.** Layout penggunaan *underwater sill* pada kolam pelabuhan

Pada Gambar 3. terlihat bahwa suatu kolam labuh yang telah dipasang *underwater sill* mengakibatkan aliran berbelok ketika akan melewati kolam pelabuhan, dengan demikian akibat pembelokkan aliran maka sedimen suspensi juga berbelok mengikuti arah aliran sehingga dapat mengurangi konsentrasi suspensi yang melintasi kolam labuh.

### **Penelitian *Underwater Sill* yang telah ada**

Perilaku pemecah gelombang bawah air, dimana sebagian gelombang yang menjalar akan dipantulkan (*refleksi*), sebagian akan diteruskan (*transmisi*) dan sebagian lagi akan dihancurkan (*dissipasi*). Penghancuran gelombang ini disebabkan oleh gesekan dasar, gesekan intern fluida atau karena pecahnya gelombang (Sujoko, 1954 dalam Fatma Umiyati,1999).

Dharma 1994, dalam Fatma Umiyati, 1999 menyebutkan bahwa pembagian besar energi untuk masing-masing kejadian tersebut diatas sangat dipengaruhi karakteristik gelombang datang (periode, tinggi dan kedalaman air), tipe bangunan (permukaan halus atau kasar, lolos air atau tidak), bentuk geometri bangunan (kemiringan, elevasi dan lebar puncak bangunan),

Sylvester 1974, dalam Susnoto, 2001 menulis tentang gaya gelombang yang bekerja pada struktur silinder atau bentuk lain yang di dalam air, namun ukurannya relatif kecil, sehingga gerakan partikel air tidak terputus.

Nizam 1987, dalam fatma umiyati, 1999 mengadakan penelitian mengenai pemecah gelombang bawah air dengan menggunakan model skala kecil. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa pengurangan tinggi gelombang merupakan fungsi dari lebar puncak pemecah gelombang dan periode datang. Hasil penelitian ini juga menunjukkan gelombang yang tertahan adalah gelombang dengan periode pendek dan meneruskan dengan periode panjang.

Nizam dan Saraswati (1988), dalam Fatwa Umiyati, 1999, melakukan penelitian mengenai pemecah gelombang bawah air berpori dengan menggunakan skala yang kecil. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji efektifitas pemecah gelombang dalam meredam energi gelombang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan besarnya pengurangan tinggi gelombang berkisar antara 10% - 90%. Pengurangan tinggi gelombang tersebut dinyatakan dengan koefisien transmisi. Selain itu refleksi yang terjadi di sisi muka pemecah gelombang sangat kecil antara 1% - 10%. Energi gelombang yang terjal (periode kecil) cenderung lebih dihancurkan dari pada gelombang yang landai.

Nur Yuwono (1999), meneliti dengan uji model hidraulik interaksi antara gelombang dengan bangunan bawah air ( *interaction between wave and underwater sill* ), yang akan digunakan dalam perancangan stabilitas *underwater sill* pelabuhan PT Semen Gresik di Tuban, Jawa Timur. Hasil penelitian berupa formulasi gaya yang bekerja pada bangunan bawah air yang digunakan untuk mengatasi pendangkalan alur pelayaran dan kolam labuh. Hasil penelitian berupa penentuan besarnya koefisien seret (Cd) yang dihitung dengan Persamaan 2 dan 4 :

$$Cd_{maks}=0,1+0,8(h/d) \quad (2)$$

$$F=Cd_{maks} \cdot \gamma \cdot h \cdot H \quad (3)$$

Nilai  $Cd_{maks}$  didekati dengan formula :

$$Cd_{maks}=0,1+0,8(h/d) \quad \text{untuk} \quad 0,2 < h < 0,6 \quad (4)$$

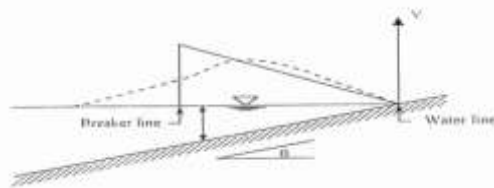
Nur Yuwono (2001) melakukan penelitian dengan model *underwater sill* berbentuk T terbalik dengan tinggi 2 m, panjang 6 m dan lebar dasar 6 m dengan tebal dinding 20 s.d. 30 cm. Dan hubungan antar dinding dilakukan dengan lembaran karet berkualitas tinggi. Bangunan UWS dibangun didasar laut dan didukung dengan tiang pancang bambu. Dengan dibangunnya UWS ini diharapkan pendangkalan yang terjadi di kolam labuh dan kolam putar dapat direduksi sebesar 40 s.d. 50 %. Hasil dari penelitian ini adalah sedimentasi di kolam labuh tanpa UWS sekitar 1,80 m (sesuai prediksi) dan setelah UWS dibangun adalah 0,40 – 0,50 m atau 25 % dari laju pengendapan tanpa UWS. Dengan demikian dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pemakaian UWS untuk mengurangi sedimentasi adalah cukup berhasil.

### **Distribusi Kecepatan Karena Arus (Tanpa Gelombang )**

Pada arus seragam yang tetap di air dangkal, kecepatan dipengaruhi oleh kekasaran dasar di seluruh kedalaman di mana adanya perubahan kekasaran dasar menyebabkan berubahnya distribusi kecepatan. Pada keadaan adanya gelombang, profil kecepatan tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh kekasaran dasar, hanya lapisan-lapisan di dekat dasar saja yang terpengaruh kekasaran dasar.

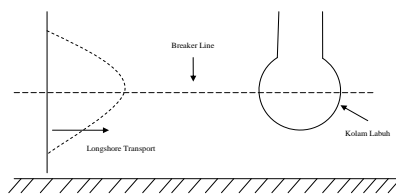
### ***Longshore Current dan Longshore Transport***

*Longshore Current* adalah arus menyusur pantai (sepanjang pantai) yang disebabkan oleh gelombang yang datangnya menyudut terhadap pantai. Arus ini terjadi terutama di daerah *surf zone* yaitu daerah antara gelombang mulai pecah sampai ke garis pantai. Nur Yuwono (1999), menyatakan bahwa gelombang yang menuju pantai menyebabkan perpindahan energi dari laut ke pantai. Pada saat gelombang pecah di daerah *breaker zone*, energi tersebut sebagian berubah menjadi arus sepanjang pantai dan sebagian lagi menyebabkan turbulensi hebat di lokasi gelombang pecah tersebut. Kombinasi antara turbulensi yang tinggi dan arus sejajar pantai menyebabkan terjadinya angkutan sedimen menyusur pantai. Distribusi arus menyusur pantai dapat dijelaskan pada Gambar 3.1.



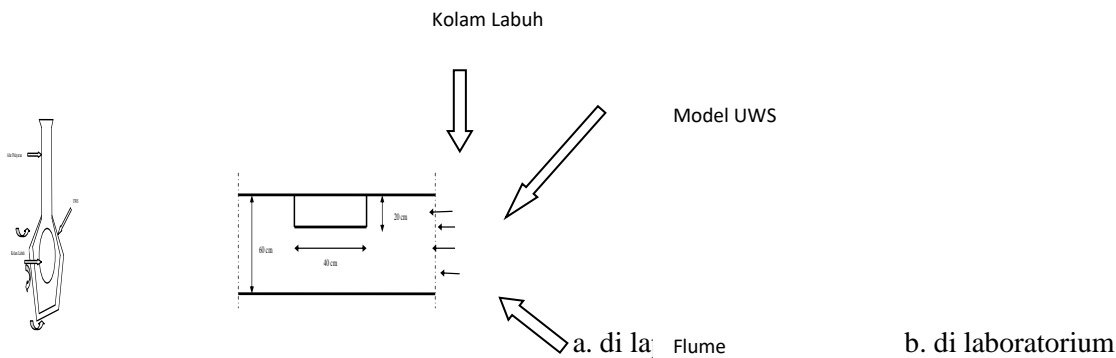
**Gambar 4.** Distribusi kecepatan arus menyusur pantai (Yuwono, 1999)

*Longshore transport* adalah angkutan sedimen pantai yang disebabkan oleh *longshore current*. Oleh karena itu angkutan sedimen terjadi pada daerah *surf zone*. Adanya struktur pada *surf zone* tersebut akan mengakibatkan angkutan sedimen suspensi mengalami gangguan. Jika suatu kolam labuh dan alur pelayaran berada pada daerah ini, akan mengalami pendangkalan cukup berat karena dilintasi oleh gerakan sedimen.



**Gambar 5.** Pengaruh *longshore transport* pada kolam labuh dan alur pelayaran

Mengacu pada teori mengenai *longshore transport* di atas, maka dalam penelitian ini penulis ingin mengetahui bagaimana pola aliran dan angkutan sedimen yang terjadi pada suatu kolam labuh apabila menggunakan *underwater sill* yang berbentuk persegi dan setengah lingkaran. Gambaran *underwater sill* jika dipakai di lapangan dan penerapannya untuk penelitian di laboratorium bisa dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 6.** Posisi UWS di lapangan dan laboratorium

Beberapa permasalahan teknik yang berhubungan dengan aliran fluida memerlukan percobaan atau pengamatan langsung untuk menyelesaikan masalah tersebut. Studi model, yaitu pengamatan di laboratorium dengan membuat bentuk miniatur dari permasalahan sering dilakukan dan studi ini memberikan hasil perencanaan/analisis yang lebih baik dan teliti.

Model adalah salah satu cara untuk memahami proses atau kejadian alam misalnya, beberapa cara pendekatan yang dilakukan (Yuwono, 1986) adalah :

- a. pendekatan dengan model matematik,
- b. pendekatan dengan model fisik,
- c. studi lapangan.

Untuk pendekatan dengan model fisik, manfaat yang diperoleh (Triatmodjo, 1993) adalah :

- kelakuan dan kinerja prototipe dapat diprediksi,
- kekurangan yang tidak/belum diperhitungkan sebelumnya dapat segera diketahui, sehingga kekurangan dapat dihindari.

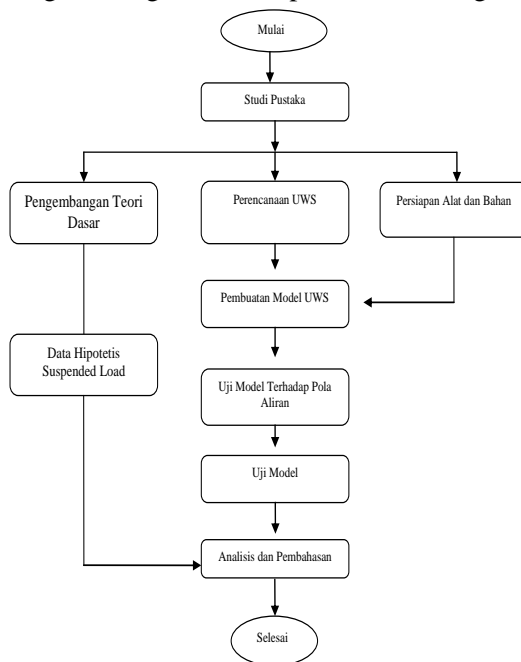
### Perkiraan Pengendapan Sedimen

Berdasarkan teori yang telah disusun pada Bab II, maka akan dikaji kemungkinan terjadinya pengendapan sedimen melayang jika diketahui data sedimen dan kecepatan aliran.

## 3. METODE PENELITIAN

### Alur Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini digambarkan dengan bagan alir seperti Gambar 7.



**Gambar 7.** Bagan Alir Penelitian

### Persiapan Alat

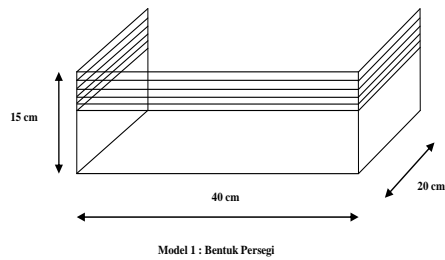
Penelitian dilakukan di laboratorium Hidraulika-Hidrologi Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada. Alat-alat yang digunakan adalah :

- saluran gelombang (*Glass Sided Fix Bed Flume*) merek ARMFIELD yang berukuran panjang 10 m, lebar 60 cm dan tinggi 45 cm,
- pompa air untuk sirkulasi aliran dan pompa untuk keperluan mengisi dan menguras saluran,
- pencatatan kecepatan arus dilakukan dengan menggunakan *current meter*.

### Bahan dan Pembuatan Model

Bahan yang dipakai untuk pembuatan benda uji untuk penelitian ini adalah: fiber glass untuk membuat model, lem kaca, alat ukur, baut, obeng, spidol, alat potong.

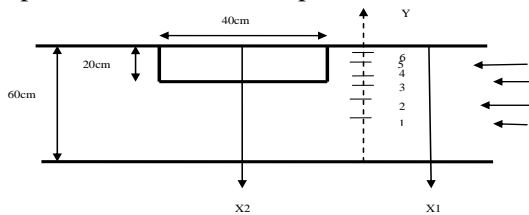
Bentuk model benda uji yang digunakan untuk penelitian ini ada 2 yaitu bentuk persegi dan setengah lingkaran dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 20 cm dan tinggi 15 cm untuk kedua bentuk tersebut.



**Gambar 8.** Bentuk benda uji

### Pelaksanaan Penelitian

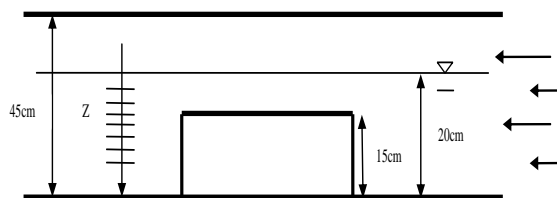
Pengukuran dilakukan pada titik-titik yang sudah ditentukan yaitu titik X1 dan X2, titik Y1 sampai Y6 dan titik Z1 sampai Z10 (lihat Gambar 9.)



**Gambar 9.** Titik-titik pengukuran arah X dan Y (tampak atas)

Keterangan Gambar 9 :

- 20 cm : lebar UWS,
- 40cm : panjang UWS,
- 60cm : lebar flume,
- X1 dan X2 : pengukuran pada titik X,
- Y1 sampai Y6 : pengukuran pada titik Y



**Gambar 10.** Titik-titik pengukuran arah Z (tampak depan)

Keterangan Gambar 10 :

- 45cm : tinggi flume,
- 15cm : tinggi UWS,
- 20cm : tinggi muka air,
- Z : pengukuran pada titik Z (ketinggian dari muka air).

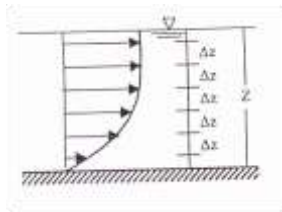
Pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

- Model yang sudah dibuat dan akan diuji ditempel di dalam flume dengan menggunakan lem kaca (2 hari sebelum pengambilan data),
- Flume diisi air dengan volume yang sudah ditentukan yaitu 20 cm di bagian saluran dengan debit yang sudah ditentukan yaitu 10 l/det.

- c. Setelah itu kecepatan diukur dengan menggunakan alat ukur kecepatan yaitu *currentmeter* pada titik-titik yang telah ditentukan.
- d. Titik-titik yang diukur adalah titik X ada 2 titik yaitu X1 dan X2 ; titik Y ada 6 titik yaitu Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6 ; titik Z ada 10 titik yaitu Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, Z7, Z8, Z9, Z10. Data pada titik-titik pengukuran ini diambil pada setiap ketinggian bangunan, yaitu pada ketinggian 10 cm, 11 cm, 12 cm, 13 cm, 14 cm dan 15 cm. Untuk keseluruhan pengambilan data membutuhkan waktu sekitar kurang lebih selama 2 bulan. Untuk setiap tinggi bangunan didapat 240 data kecepatan, sehingga keseluruhan tinggi bangunan didapat 1440 data kecepatan.
- e. Dari data kecepatan yang didapat kemudian bisa ditentukan berapa besar debit sedimen melayang (*suspended load*) yang terkandung di setiap bagian titik-titik pengukuran.
- f. Pengukuran dilakukan pada kedua model dengan cara yang sama tanpa mengubah tinggi muka air dan debit aliran.

Hasil pengujian adalah data pengukuran kecepatan yang nantinya akan dipakai untuk menganalisis debit sedimen. Debit sedimen ditentukan dengan menggunakan formula :

$$Q_s = U_z \cdot C_z \cdot \Delta z \quad (4.1)$$



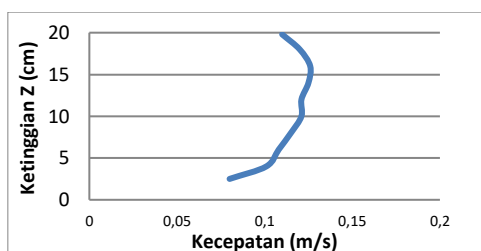
**Gambar 11.** Metode untuk menghitung  $Q_s$

#### 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

##### Analisis Data Kecepatan Aliran

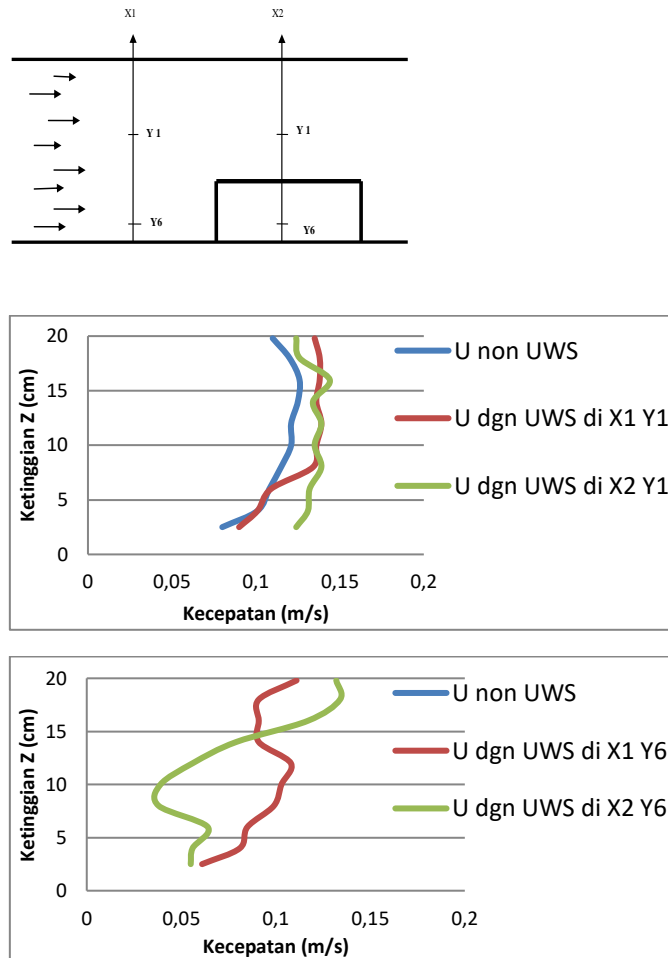
Data kecepatan aliran diperoleh dari pengukuran kecepatan yang dilakukan pada tiap-tiap titik yang ditentukan, dengan menggunakan alat ukur *Currentmeter*. Hasil pengukuran kecepatan adalah kecepatan pada lokasi yang diukur, kemudian dilakukan plotting pada grafik sehingga diperoleh profil/distribusi kecepatan sebagai fungsi kedalaman aliran ( $Z$ ) untuk tiap-tiap lokasi.

Pada kondisi aliran tanpa *Underwater Sill* profil distribusi kecepatan aliran seperti gambar 12.



**Gambar 12.** Profil Kecepatan Aliran Tanpa UWS

Nilai kecepatan maksimum tidak terletak di permukaan ( $Z=h$ ), tetapi berada pada kedalaman tertentu dibawah permukaan. Dari hasil pengukuran, nilai kecepatan maksimum secara keseluruhan berada pada pias kedua dan ketiga dari permukaan. Contoh profil kecepatan aliran akibat pengaruh UWS disajikan dalam Gambar 13.



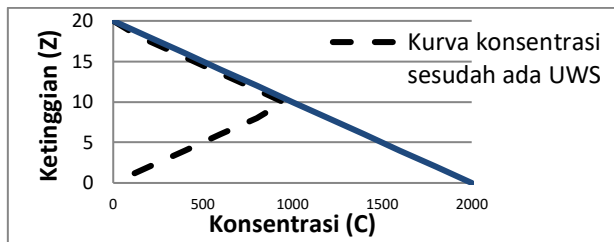
**Gambar 13.** Profil kecepatan aliran pada  $h = 10$  cm

Dari Gambar 13 terlihat jelas bahwa profil kecepatan aliran setelah ada bangunan *underwater sill* mulai berubah di semua titik pengukuran. Perubahan terjadi karena aliran sudah dihalangi oleh bangunan, pola aliran berubah sangat besar terjadi di titik X2, Y6 karena titik ini adalah titik pengukuran yang berada didalam bangunan.

#### Anggapan Data Konsentrasi Sedimen

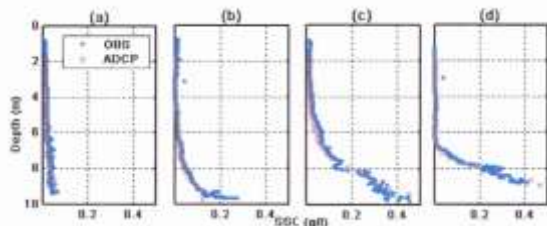
Akibat sulit untuk memodelkan sedimen terutama dalam menentukan diameter sedimen, maka konsentrasi sedimen akan dikaji dari kecepatan aliran yang telah diukur.

Pada kondisi model dengan *underwater sill*, fenomena yang cukup penting adalah terjadinya belokan sedimen melewati *underwater sill*. Dengan kata lain sebagian besar suspensi berbelok mengikuti aliran air ketika dihalangi *underwater sill*, sehingga terjadi penurunan nilai konsentrasi pada lokasi didalam struktur dibanding dengan nilai konsentrasi dibagian luar struktur. Nilai distribusi konsentrasi sedimen suspensi yang digunakan adalah antara 0-2000 (mg/l). Secara hipotetik, distribusi konsentrasi sedimen dihitung menggunakan kurva linier seperti pada Gambar 14.



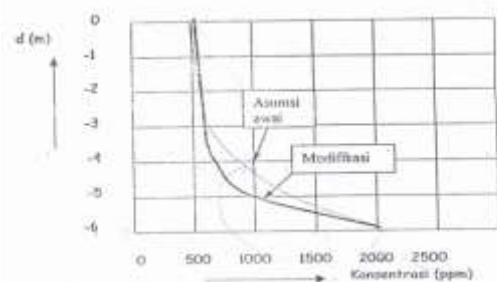
**Gambar 14.** Kurva konsentrasi hipotetik sedimen suspensi

Beberapa peneliti juga menggunakan data konsentrasi sedimen secara hipotetik dalam penelitian mereka, seperti : Yong H. Kim dan George Voulgaris, mengadakan penelitian mengenai perkiraan pengendapan sedimen tersuspensi dalam lingkungan muara. Data konsentrasi sedimen yang mereka gunakan seperti pada gambar 15 dan 16.



**Gambar 15.** Konsentrasi sedimen yang digunakan oleh Kim dan Voulgaris

Nur Yuwono menggunakan distribusi material suspensi secara hipotetik dalam penelitian mengenai evaluasi kinerja *underwater sill* pelabuhan PT Semen Gresik (Persero) TBK di Tuban, seperti pada gambar 5.8.



**Gambar 16.** Distribusi Konsentrasi Material Suspensi (Nur Yuwono,2001)

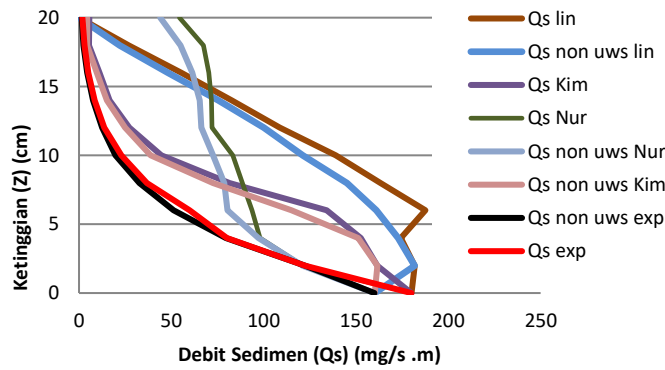
Dengan menggunakan data kecepatan aliran dari hasil pengukuran, dilakukan perhitungan untuk membandingkan debit sedimen yang melewati alur yang dilindungi dengan berbagai anggapan konsentrasi sedimen antara kurva linier, kurva eksponensial, kurva Kim & Voulgaris dengan kurva yang digunakan oleh Nur Yuwono.

Hasilnya ternyata tidak berbeda jauh dengan perhitungan menggunakan kurva linier yang dipakai, debit sedimen ( $Q_s$ ) yang melewati alur yang dilindungi saat tinggi bangunan 10cm dengan menggunakan anggapan konsentrasi sedimen menurut kurva linier ( $Q_s$  lin) adalah sebesar 70%, menurut kurva Kim dan Voulgaris ( $Q_s$  Kim) sebesar 67%, menurut kurva Nur Yuwono ( $Q_s$  Nur) sebesar 72% dan menurut kurva eksponensial ( $Q_s$  exp) sebesar 80% (lihat Tabel 1 dan Gambar 17).

Perhitungan untuk membandingkan debit sedimen yang lewat pada *underwater sill* hanya dilakukan untuk tinggi bangunan 10cm saja, namun untuk keseluruhan perhitungan untuk tiap-tiap tinggi bangunan menggunakan anggapan konsentrasi sedimen menurut kurva linier.

**Tabel 1.** Perbandingan Qs yang lewat pada h=10cm dengan 4 kurva

h	Presentase debit sedimen (Qs) yang lewat			
	Qs linier	Qs Kim	Qs Nur	Qs exp
10	70%	67%	72%	80%



**Gambar 17.** Perbandingan Qs dari berbagai anggapan kurva konsentrasi

Keterangan :

Qs lin : debit sedimen menurut kurva linier

Qs exp : debit sedimen menurut kurva exponential

Qs Kim : debit sedimen menurut kurva Kim & Voulgaris

Qs Nur : debit sedimen menurut kurva Nur Yuwono

Qs non UWS: debit sedimen sebelum ada bangunan UWS

**Debit Aliran dan Debit Sedimen Melalui Penampang**

Untuk menghitung debit sedimen ini, digunakan data kecepatan aliran dari hasil pengukuran dan konsentrasi suspensi. Dalam suatu penampang, kecepatan aliran (U) dikalikan dengan konsentrasi suspensi (C) pada titik yang bersangkutan dikalikan dengan luas daerah dimana kecepatan diukur (A), sehingga didapat debit sedimen satu pias. Debit sedimen suspensi (Qs) penampang didapat dengan menjumlahkan semua debit per pias dalam suatu penampang. Sedangkan debit aliran didapat dari mengalikan kecepatan aliran (U) dengan luas daerah (A).

Contoh hasil hitungan dapat disajikan dalam tabel dibawah ini.

**Tabel 2.** Hitungan debit sedimen dan debit aliran pada model 1 di X1;Ye; h=10cm

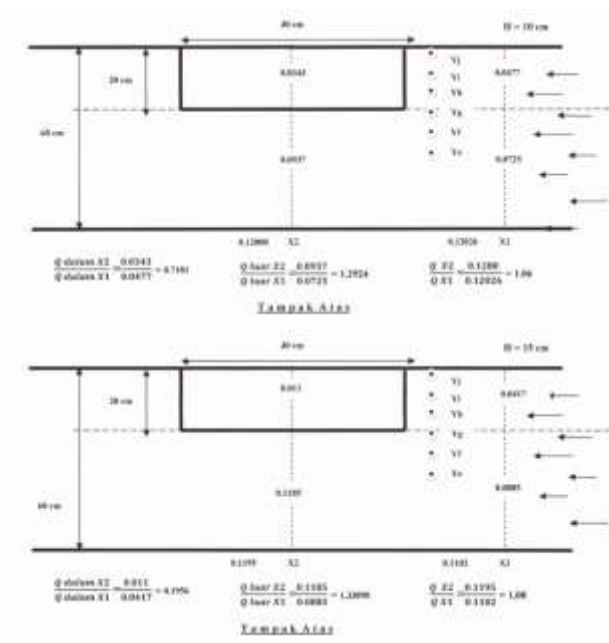
Tinggi Z (cm)	U rata-rata(m/s)	A(m <sup>2</sup> )	C (mg/l)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>sed</sub> (mg/s.m)
18.9	0.1365	0.02457	100	0.003353805	0.3353805
17	0.138	0.0276	300	0.0038088	1.14264
15	0.137	0.0274	500	0.0037538	1.8769
13	0.1375	0.0275	700	0.00378125	2.646875
11	0.1375	0.0275	900	0.00378125	3.403125
9	0.135	0.027	1100	0.003645	4.0095
7	0.1215	0.0243	1300	0.00295245	3.838185
5	0.105	0.021	1500	0.002205	3.3075
3.25	0.0955	0.014325	1700	0.001368038	2.32566375
			Σ	0.028649393	22.88576925

Pada titik-titik tertentu yaitu Y4, Y5 dan Y6 debit sedimen mengalami penurunan. Ini disebabkan karena ketiga titik itu adalah titik-titik pengukuran yang ada di dalam bangunan *underwater sill* sedangkan titik Y1, Y2 dan Y3 adalah titik-titik pengukuran diluar bangunan

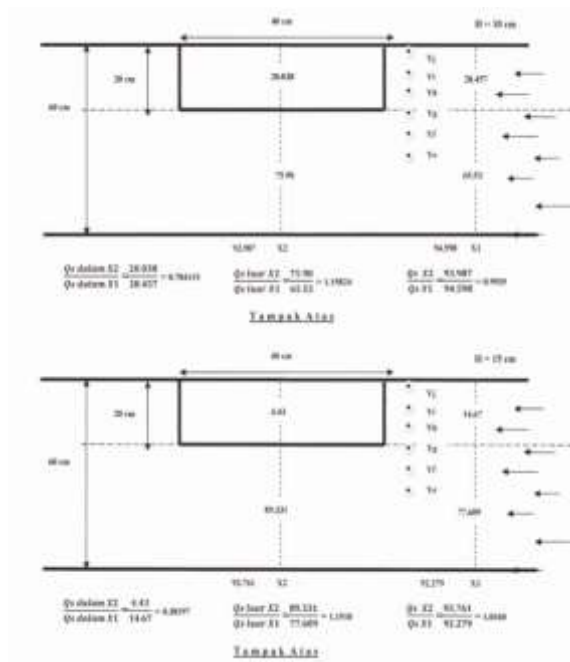
Rekapitulasi hitungan debit bangunan pada setiap ketinggian dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Rekapitulasi Debit aliran dan Debit Sedimen pada model

H	X1		X2	
	Q aliran	Q sedimen	Q aliran	Q sedimen
10	0.12026	93.987	0.1280	94.598
11	0.11438	92.897	0.1144	92.906
12	0.1095	92.085	0.1049	92.064
13	0.11067	92.284	0.11126	92.304
14	0.11505	93.137	0.1143	92.8974
15	0.1102	92.279	0.1195	93.761



**Gambar 18** Debit aliran dalam gambar pada model



**Gambar 19.** Debit sedimen dalam gambar pada model

Dari Gambar 18 dan 19, terlihat bahwa tinggi bangunan *underwater sill* mempengaruhi kecepatan dan debit sedimen yang melewati bangunan tersebut. Semakin tinggi bangunan maka semakin efektif untuk membelokkan aliran dan mengurangi debit sedimen.

## PEMBAHASAN

### Karakteristik Sedimen Suspensi di Alur

Pemahaman tentang perilaku sedimen dalam aliran adalah sangat penting untuk dapat menangani permasalahan sedimen yang terjadi. Dalam aliran, sedimen suspensi melayang bersama aliran air. *Underwater sill* sebagai bangunan bawah air yang berfungsi untuk mengurangi sedimentasi alur pelayaran dan kolam pelabuhan, sebaiknya dipasang ditepi sepanjang alur dan sekeliling kolam labuh. Dengan demikian diharapkan sedimen dapat berbelok mengikuti arah aliran, sehingga pendangkalan dialur dapat dikurangi.

### Pengaruh *Underwater Sill* terhadap Kecepatan aliran

Dari Gambar 13 terlihat bahwa bangunan bawah air (*underwater sill*) mempengaruhi profil kecepatan aliran. Kecepatan aliran di samping struktur sangat besar akibat pembelokkan aliran karena dihalangi oleh bangunan, sedangkan kecepatan aliran didalam struktur kecil.

### Pengaruh Tinggi *Underwater Sill* terhadap sedimentasi

Karena sedimen merupakan fungsi dari debit aliran, maka dari perhitungan debit aliran dan debit sedimen yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin tinggi *underwater sill* yang dibuat, akan semakin besar kemampuan membelokkan dan mengurangi sedimen pada alur yang dilindungi, sehingga debit sedimen di samping bangunan lebih banyak jumlahnya daripada debit sedimen di dalam bangunan. Penelitian ini menguji *underwater sill* dengan tinggi 15 cm, 14 cm, 13 cm, 12 cm, 11 cm dan 10 cm dengan kedalaman aliran 20 cm. Untuk keseluruhan dari penelitian ini bangunan yang lebih tinggi ( $h = 15$  cm) dapat mengurangi sedimen yang masuk ke dalam alur yang dilindungi. Semakin tinggi bangunan, semakin efektif untuk mengurangi jumlah sedimen yang masuk di dalam alur yang dilindungi karena kecilnya aliran didalam bangunan (lihat Gambar 18 dan 19).

## 5. PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Keberadaan *underwater sill* dapat menyebabkan perubahan distribusi kecepatan, yaitu penurunan kecepatan pada daerah yang terlindungi UWS dan peningkatan kecepatan pada bagian luar UWS, hal ini karena adanya pembelokkan aliran oleh struktur UWS.
2. Makin tinggi struktur UWS, makin efektif melindungi kawasan dalam UWS. Pada tinggi UWS  $\approx \frac{h}{d} = 0,75$ , secara pendekatan teoritis dapat mengurangi angkutan sedimen sebesar 20 sampai 30%

### SARAN

1. Untuk pihak-pihak terkait yang ingin menggunakan *underwater sill* sebagai struktur penahan sedimen, diharapkan memilih bentuk struktur lengkung karena lebih efektif dalam membelokkan aliran yang membawa sedimen tersuspensi.
2. Untuk tujuan penerapan dan desain dimensi *underwater sill* sebagai struktur pengendali pendangkalan di alur pelayaran, masih perlu penelitian yang lebih lanjut. Karena penelitian yang dilakukan saat ini masih menggunakan distribusi konsentrasi angkutan sedimen melayang (*suspended load*) secara hipotetik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Dimas, S., 2001, *Studi Gaya Gelombang Equivalen Pada Bangunan Bawah Air Dengan Berbagai Variasi Lebar Struktur*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Eko A.S., 2000, *Studi Gaya Gelombang Equivalen Pada Bangunan Bawah Air Dengan Berbagai Bentuk Struktur*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Fatma, U., 1999, *Stabilitas Gamapod Tunggal Terhadap Serangan Gelombang*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Habib, S., 2000, *Pengaruh Underwater Sill terhadap Angkutan Sedimen Suspensi Pada Saluran Aliran Terbuka*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kim, H.,Y., and Voulgaris, G., *Estimation of Suspended Sediment Concentration in Estuarine Environments Using Acoustic Backscatter From an ADCP*.
- Susnoto., 2001, *Pengaruh Bentuk Struktur Terhadap Gelombang Pada Struktur Bawah Air*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmadja, R., 1996, *Teknik Pantai*, Materi Kuliah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B.T., 1996, *Pelabuhan*, Beta offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B.T., 1996, *Teknik Pantai*, Beta offset, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1986, *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Pusat Antar Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1986, *Teknik Pantai Vol. I*, Biro Penerbit KMTS, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1999, *Evaluasi Rencana Pengembangan Kolam Labuh Pelabuhan PT. Semen Gresik di Tuban*, Makalah Ilmiah, Pusat Antar Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1999, *Interaksi Antara Gelombang dan Bangunan Bawah Air*, Laporan Uji Model Hidraulik, PT. Semen Gresik (Persero) Tbk, Gresik.
- Yuwono, N., 2001, *Underwater Sill Structure For Semen Gresik Harbour at Tuban*, Proceeding International seminar, High Performance Concrete and Underwater Concreting, Jakarta.
- Yuwono, N., 2001, *Evaluasi Kinerja Underwater Sill Pelabuhan PT semen Gresik (Persero) Tbk di Tuban*, Makalah Seminar Nasional Teknik Pantai, Pusat Antar Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.