

PENGERUSAN SEDIMEN DI DASAR SUNGAI BAGIAN HILIR KOLAM OLAK SUATU BENDUNG TERTENTU

Maria Christine ⁽¹⁾, Robby Yussac Tallar ⁽²⁾

ABSTRAK

Dalam perencanaan suatu bangunan air seperti bendung, diperlukan penelitian terlebih dahulu mengenai masalah penggerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi pada bagian hilir bangunan tersebut. Masalah gerusan lokal terjadi sebagai akibat dari kecepatan air dan turbulensi yang melampaui daya tahan dari material dasar saluran atau sungai. Pada penelitian kali ini, digunakan saluran berbentuk persegi dengan ukuran dan kemiringan dasar tertentu untuk mencari kedalaman gerusan lokal beserta volume kering sedimen yang terbawa.

Melalui 6 kali percobaan dengan merata-ratakan debit pada 2 alat ukur debit yang dipakai, didapat gerusan lokal terdalam yang terjadi sebesar 3.8 cm; 4 cm; 4.3 cm; 4.5 cm; 4.8 cm; 5.1 cm dan volume kering sedimen yang terbawa sebesar 8305 cm³; 12915 cm³; 18505.71 cm³; 23331.43 cm³; 28760 cm³; 29960.71 cm³.

Pada penelitian kali ini dapat disimpulkan kalau rumus Lacey yang paling mendekati hasil laboratorium setelah mencapai keseimbangan. Besarnya volume sedimen yang terbawa, sangat dipengaruhi oleh diameter butir sedimen, debit aliran, kecepatan aliran dan kemiringan saluran. Semakin besar debit yang mengalir, pada waktu tertentu akan menghasilkan penggerusan yang konstan. Hal ini dikarenakan adanya keseimbangan yang telah tercapai. Semakin dalam gerusan lokal yang terjadi maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak pula volume sedimen yang terbawa di bagian hilir bendung.

Kata-kata kunci : penggerusan lokal, sedimen, debit aliran, kecepatan aliran, kemiringan saluran.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perencanaan bendung pada suatu sungai, termasuk di dalamnya direncanakan pula ruang olak atau kolam olak, karena ruang olak merupakan salah satu kelengkapan bagian hilir dari bendung yang berfungsi untuk meredam energi yang ditimbulkan oleh aliran dengan kecepatan dan energi yang besar sebagai akibat dari peninggian taraf muka air udik oleh pembendungan. Oleh karena itu, ruang olak dibangun untuk mencegah atau mengurangi terjadinya gerusan lokal di hilir bendung agar tidak membahayakan konstruksi bendung itu sendiri.

Prinsip utama dari ruang olak itu sendiri adalah bila elevasi muka air di atas ruang olak lebih tinggi daripada elevasi muka air di hilirnya maka akan terjadi loncatan air (*hydraulics jump*) yang mengakibatkan adanya gerusan lokal dasar sungai di hilir ruang

olak. Diperlukan penelitian terhadap gerusan lokal pada dasar sungai hilir bendung untuk menghindari kerusakan bendung baik terhadap pondasi bendung, sayap hilir bendung maupun badan bendung itu sendiri.

Disamping itu, gerusan lokal pada dasarnya juga dipengaruhi oleh beberapa faktor atau variabel lainnya seperti :

1. Variabel yang terdapat pada karakteristik cairan :
 - Kerapatan air (ρ)
 - Kekentalan kinematik (ν)
 - Kekentalan dinamis (μ)
 - Percepatan gravitasi (g)
2. Variabel yang terdapat pada karakteristik material sedimen :
 - Diameter material dasar pada saluran / sedimen (d)
 - Standar deviasi dari distribusi ukuran butir (σ)
 - Faktor bentuk (shape factor)
 - Kohesi dari sedimen
 - Kecepatan jatuh partikel sedimen (Ψ)
3. Variabel yang terdapat pada karakteristik aliran :
 - Perbedaan tinggi muka air di udik dan hilir bendung (H)
 - Kecepatan aliran (V)
 - Debit aliran (Q)
4. Variabel yang terdapat pada karakteristik bendung :
 - Tipe bendung
 - Tipe ruang olak
 - Tinggi mercu bendung
 - Ukuran dan banyaknya *Chute Blocks* (bila ada)

Akan dilakukan penelitian terhadap gerusan sedimen di dasar saluran bagian hilir ruang olak bendung, dengan hanya meninjau beberapa faktor atau variabel yang mempengaruhinya, yaitu dengan melihat hasil dari volume sedimen yang terbawa (dalam hal ini pasir) dan hubungannya dengan kedalaman gerusan lokal pada suatu debit aliran dan kecepatan tertentu.

Analisis hasil penelitian dapat dipakai dalam perencanaan bendung untuk mendisain dan memilih jenis konstruksi bendung yang sesuai dan memiliki efek samping yang relatif kecil sehingga aman dalam penggunaannya.

1.2 Tujuan

Beberapa hal yang didapat dalam penelitian ini, antara lain :

1. Mengetahui permasalahan gerusan lokal (*local scouring*) yang sering terjadi pada bagian hilir ruang olak bendung sehingga dalam perencanaan bendung hal ini dapat diperhitungkan secara seksama karena cukup berpengaruh pada konstruksi bendung itu sendiri.
2. Menentukan hasil hubungan antara kedalaman gerusan lokal (ds) yang terjadi dengan volume dari sedimen yang terbawa atau tergerus.
3. Memberikan solusi penanggulangannya dalam mengatasi masalah penggerusan lokal.
4. Hasil yang didapat baru merupakan tahap awal dari perencanaan secara menyeluruh dalam perencanaan bendung dengan memperhatikan efek dari gerusan lokal yang terjadi.

1.3 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini antara lain:

1. Bentuk daripada saluran atau sungai yang dimodelkan adalah persegi dengan ukuran tertentu dan kemiringan dasar saluran yang akan ditentukan terlebih dahulu.
2. Peninjauan eksperimen dilakukan pada sedimen dalam hal ini berjenis pasir dengan diameter mayoritas 0.5 mm yang akan dijadikan sebagai sampel atau contoh sedimen dasar sungai yang berada di hilir bendung.
3. Debit aliran dan kecepatan akan diasumsikan terlebih dahulu dengan nilai tertentu.
4. Dinding saluran dianggap tegak atau tidak memiliki kemiringan dinding saluran.
5. Variabel – variabel lain yang mempengaruhi diabaikan karena keterbatasan sarana, peralatan, waktu, biaya dan lain-lainnya, disamping banyaknya variabel yang saling tergantung satu sama lain dan interaksi antar variabel tidak begitu diketahui secara baik serta efek dari variabel tersebut masih spekulatif. Alasan lainnya terutama dalam hal bagaimana menentukan variabel–variabel yang mempengaruhi aliran dan sebaliknya variabel– variabel mana yang dihasilkan dari aliran tersebut.

1.4 Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan percobaan atau eksperimen yang dilakukan di laboratorium Hidraulika Universitas Kristen

Maranatha untuk didapat data – data yang diperlukan dalam menganalisis topik yang dibahas.

Percobaan yang dilakukan meliputi dari pembenahan dari peralatan dan perlengkapan laboratorium termasuk perbaikan bendung yang akan digunakan, penentuan jenis sedimen yang digunakan, penentuan waktu aliran dengan debit air dan kecepatan tertentu, sampai pada pengukuran volume dari sedimen yang terbawa akibat penggerusan pada hilir bendung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Masalah gerusan lokal (*local scouring*) yang terjadi di bagian hilir ruang olak suatu bendung sangat berpengaruh pada perencanaan suatu bendung. Masalah tersebut sangatlah berkaitan dengan karakteristik dari sedimen yang ada. Umumnya sungai memiliki dasar saluran yang tidak tetap atau lepas sehingga menimbulkan fenomena yang rumit dari hubungan antara gerak air dan gerak sedimen. Untuk suatu pengertian dasar dari proses morfologi sungai, pengetahuan dari angkutan sedimen adalah sangat penting. Pada bab ini diberikan penjelasan dari beberapa aspek umum dan singkat dari karakteristik sedimen dan sebab akibat terjadinya gerusan lokal beserta rumus yang digunakan dalam perhitungan.

2.1 Karakteristik Sedimen

Sedimen terbagi menjadi dua sifat yaitu sedimen yang kohesif maupun sedimen yang tidak kohesif. Keduanya memiliki bagian dalam proses morfologi pada suatu sungai. Untuk sedimen yang tidak kohesif tidak memiliki hubungan timbal balik yang bersifat fisik-kimia (*physical-chemical*) antara partikelnya sendiri. Kebanyakan angkutan sedimen di sungai tergolong dalam jenis ini.

Untuk sedimen yang kohesif, hubungan timbal balik antara partikel yang satu dengan yang lainnya memiliki peranan yang sangat penting. Hal ini penting untuk awal dari gerak (erosi tanah tebing) dan juga untuk pengangkutannya seperti pada masalah penggumpalan.

A. Untuk sifat sedimen yang tidak kohesif

Sifat – sifat sedimen yang tidak kohesif akan dibahas dalam hubungannya dengan masalah pengangkutan sedimen (*sediment transport*) antara lain :

1. Ukuran partikel sedimen

Karena ukuran bentuk partikel sedimen tidak selalu berbentuk seperti bola atau bulat melainkan ada juga yang berbentuk kepingan atau seperti jarum maka

dalam menentukan diameter partikel berbutir kasar dilakukan penyaringan yang didasarkan atas volumenya, sedangkan untuk partikel yang lebih halus didasarkan pada kecepatan pengendapannya. Dalam hal menentukan ukuran diameter partikel berdasarkan volume maupun kecepatan pengendapannya, bentuk partikel dianggap berupa bola yang hasilnya berupa diameter.

2. Bentuk partikel sedimen

Bentuk dari suatu partikel sedimen yang mengendap sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan, pergerakan sedimen, porositas endapan dan lain – lain. Bentuk partikel yang terdapat di alam sangatlah beraneka ragam yang terdiri dari bentuk geometris seperti bola, kubus dan sebagainya maupun yang berbentuk acak yang rumit dan tidak beraturan. Dalam menggolongkan bentuk partikel tersebut, diperlukan parameter – parameter dalam menentukannya. Ada beberapa cara dalam menentukan bentuk butiran yaitu :

a. Berdasarkan volume partikel

Dalam hal ini, bentuk partikel digolongkan berdasarkan volume dan luas permukaannya dengan memperhatikan kebulatan material.

b. Berdasarkan Luas Proyeksi Partikel Sedimen

c. Berdasarkan ukuran tiga sumbu/ *Triaxial Size*

3. Kecepatan mengendap

4. Komposisi mineral

5. Permukaan partikel sedimen

Bentuk permukaan partikel sedimen merupakan kumpulan dari butiran-butiran yang sangat halus pada permukaannya sehingga sampai saat ini belum dapat diketahui pengaruhnya pada pergerakan sedimen itu sendiri. Hal ini karena penyelidikan dan teknik pengukuran yang tepat belum ditemui. Maka dari itu, bentuk permukaan hanya dibagi menjadi dua golongan yaitu permukaan yang halus dan permukaan yang berbercak. Menurut R.J Garde dan Ranga Raju, pembagian ini tidaklah terlalu penting untuk para ahli hidraulika.

6. Keadaan sedimen

Ada dua macam keadaan yang akan dibahas dalam hal ini adalah keadaan dimana partikel sedimen masih melayang di dalam zat cair dan keadaan dimana partikel sedimen tersebut sudah mengendap di dasar saluran. Keadaan yang pertama disebut juga keadaan seketika/*instantaneous orientation* sedangkan keadaan yang kedua disebut juga sebagai timbunan/*fabric*.

B. Untuk sifat yang kohesif/sebagai kelompok

Sifat-sifat keseluruhan dari partikel sedimen antara lain pembagian ukuran sedimen, porositas sedimen, berat volume kering (*specific weight*) dan sudut pengendapan (*angle of repose*).

2.2 Sebab akibat terjadinya gerusan lokal

Gerusan lokal terjadi disebabkan akibat dari adanya turbulensi tambahan yang terjadi di ruang olak dan terganggunya aliran baik besar maupun arahnya sehingga menyebabkan hanyutnya material sedimen dasar yang dapat bergerak oleh aliran. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan sebagai fungsi dari tempat, waktu ataupun kedua-duanya. Penggerusan lokal terjadi karena kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material sedimen dilampaui atau akibat adanya aliran yang mengocok (*stirring flow*) di dasar sungai bagian hilir atau tepatnya di bagian hilir ruang olak. Gerusan lokal (*local scouring*) dapat mengakibatkan terjadinya penurunan elevasi muka air di hilir yang akan berpengaruh pada perhitungan gaya angkat (*uplift*) dari perencanaan bendung dan bila terjadinya pada bagian pondasi tiang jembatan maka akan merusakkan pondasi tiang tersebut. Disamping itu bila didekat bendung terdapat bangunan pengambilan bebas untuk jaringan irigasi maka turunnya elevasi muka air akibat gerusan lokal akan menyulitkan pengadaan air untuk saluran irigasi tersebut. Walaupun segi negatif dari terjadinya gerusan lokal lebih banyak, akan tetapi gerusan lokal masih mempunyai segi positifnya yaitu dengan menurunnya dasar sungai maka secara perlahan akan mengakibatkan kapasitas sungai dalam menahan banjirpun meningkat.

Adapun rumus yang dapat digunakan dalam menghitung kedalaman gerusan lokal, antara lain :

a. Menurut Lacey

Rumus ini berlaku untuk dasar sungai berpasir. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$ds = 0.473 (Q/f)^{1/3} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

ds = kedalaman penggerusan (m)

Q = debit aliran (m³/det)

f = faktor silt = 1.76 D^{0.5}

D = diameter keserbasamaan atau mayoritas (mm)

b. Menurut Wu

Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$ds = 1.18 * H^{0.235} * q^{0.51} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ds = kedalaman penggerusan(m)

H = perbedaan tinggi muka air di hilir dan udik bendung(m)

g = percepatan gravitasi(m/det²)

q = debit aliran persatuan lebar bendung(m³/det/m¹)

c. Menurut Veronese

Veronese memodifikasi rumus dari Schoklitsch yang persamaannya adalah sebagai berikut :

$$ds = 1.90 * H^{0.225} * q^{0.54} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

ds = kedalaman penggerusan(m)

H = perbedaan tinggi muka air di hilir dan udik bendung(m)

q = debit aliran persatuan lebar bendung(m³/det/m¹)

3. DATA

Data Model :

- Tipe mercu bulat dengan tinggi pengempangan = 7 cm
- Ruang olak atau peredam energi tergolong jenis USBR tipe III
- Tinggi sedimen dasar atau pasir awal sebelum pengaliran = 12.5 cm
- Elevasi awal alat ukur Thomson = 14.60 cm
- Elevasi awal alat ukur Rechbok = 36.25 cm
- Jenis sedimen dasar mayoritas tergolong jenis pasir sedang dengan ukuran berkisar ± 0.5 mm
- Kemiringan saluran (I) = 0.02
- Waktu (t) = 60 menit

Data yang didapat setelah percobaan : (Tabel 1)

- Pada percobaan 1 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -3.8 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 11627 gr
- Pada percobaan 2 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -4.0 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 18081 gr
- Pada percobaan 3 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -4.3 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 25908 gr

- Pada percobaan 4 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -4.5 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 32664 gr
- Pada percobaan 5 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -4.8 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 40264 gr
- Pada percobaan 6 didapat kedalaman penggerusan lokal terdalam -5.1 cm dan berat volume kering sedimen yang terbawa sebesar 41945 gr

Tabel 3.1 Hasil Percobaan volume kering sedimen yang terbawa dengan kedalaman gerusan lokal

Percobaan	Vol kering sedimen yang terbawa (gr)	Gerusan terdalam yang terjadi /ds(cm)
1	11627	3.8
2	18081	4
3	25908	4.3
4	32664	4.5
5	40264	4.8
6	41945	5.1

4. PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Debit Aliran (Tabel 4.2)

Untuk percobaan ke 1 :

Bacaan awal meteran taraf Thomson = 0.146 m

Bacaan akhir meteran taraf Thomson = 0.2105 m

$h = \text{bacaan akhir} - \text{bacaan awal} = 0.0645 \text{ m}$

$Q_T = 1.39h^{5/2} = 1.39 * (0.0645)^{5/2} = 0.00147 \text{ m}^3/\text{det} = 1.47 \text{ lt/det}$

Bacaan awal meteran taraf Rechbok = 0.3625 m

Bacaan akhir meteran taraf Rechbok = 0.3755 m

$h = \text{bacaan akhir} - \text{bacaan awal} = 0.013 \text{ m}$

$d = \text{tinggi pelat Rechbok} = 0.125 \text{ m}$

$b = \text{lebar bendung} = 0.4 \text{ m}$

$Q_R = [1.78 + (0.24h/d)] * b * h^{3/2} = 0.00107 \text{ m}^3/\text{det} = 1.07 \text{ lt/det}$

Maka $Q_{\text{rata-rata}} = (Q_T + Q_R) / 2 = 0.00127 \text{ m}^3/\text{det} = 1.27 \text{ lt/det}$

Tabel 4.2 Data Debit Rata - Rata (lt/det)

Percobaan	Qt (lt/det)	Qr (lt/det)	Qrata-rata (lt/det)
1	1.47	1.07	1.27
2	1.54	1.01	1275
3	1.66	0.984	1322
4	1.46	1.21	1335
5	1.59	1.28	1435
6	1645	1356	1.5

4.2 Perhitungan Kedalaman Penggerusan Lokal (Tabel 3)

Untuk percobaan ke 1 :

* Rumus Lacey :

$$f = 1.76D^{0.5} = 1.76(0.5)^{0.5} = 1.2445$$

$$Q_{rata-rata} = 0.00127 \text{ m}^3/\text{det}$$

$$\begin{aligned} ds &= 0.47 (Q/f)^{1/3} \\ &= 0.47 (0.00127/1.2445)^{1/3} \\ &= 0.0473 \text{ m} \end{aligned}$$

* Rumus Wu :

$$q = Q/b = Q_{rata-rata}/\text{lebar bendung} = 0.00127/0.4 = 0.003175 \text{ m}^3/\text{det/m}$$

$$\begin{aligned} H &= \text{tinggi muka air di udik-tinggi muka air di hilir} \\ &= 0.3522 - 0.138 \\ &= 0.2142 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ds &= 1.18 * H^{0.235} * q^{0.51} \\ &= 1.18(0.2142)^{0.235} (0.003175)^{0.51} \\ &= 0.0437 \text{ m} \end{aligned}$$

* Rumus Veronese :

$$\begin{aligned} ds &= 1.9 * H^{0.225} * q^{0.54} \\ &= 1.9(0.2142)^{0.225} (0.003175)^{0.54} \\ &= 0.0601 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Perbandingan Kedalaman Gerusan Lokal antara Hasil Lab dan Rumus

Percobaan	ds Lab(m)	ds Lacey(m)	% selisih	ds Wu (m)	% selisih	ds Varonese(m)	% selisih
1	0.038	0.0473	19.66 %	0.0437	13.04 %	0.0601	36.77 %
2	0.04	0.0474	15.61 %	0.0439	8.88 %	0.0603	33.66 %
3	0.043	0.048	10.42 %	0.0448	4.02 %	0.0617	30.31 %
4	0.045	0.048	6.25 %	0.0450	0%	0.0620	27.42 %
5	0.048	0.049	2.04 %	0.0468	2.56 %	0.0646	25.7 %
6	0.051	0.05	2%	0.0473	7.82 %	0.0654	22.02 %

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Masalah gerusan lokal (*local scouring*) terjadi akibat kecepatan air dan turbulensi yang melampaui daya tahan dari material dasar saluran atau sungai. Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan kalau dalam percobaan kali ini dengan kondisi saluran berbentuk persegi (berdinding tegak), dan dengan kondisi seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, setelah dianalisis, maka dapat disimpulkan kalau rumus Lacey yang paling mendekati hasil laboratorium setelah mencapai keseimbangan. Besarnya volume sedimen yang terbawa, sangat dipengaruhi oleh diameter butir sedimen, debit aliran, kecepatan aliran dan kemiringan saluran. Semakin besar debit yang mengalir, pada waktu tertentu akan menghasilkan penggerusan yang konstan. Hal ini dikarenakan adanya keseimbangan yang telah tercapai. Semakin dalam gerusan lokal yang terjadi maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak pula volume sedimen yang terbawa di bagian hilir bendung.

5.2 Saran

Dari hasil percobaan, terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan antara lain :

- Pengukuran ketinggian air dengan menggunakan meteran taraf sebaiknya dibaca seteliti mungkin karena akan sangat berpengaruh dalam mencari debit yang melewati ambang Thompson maupun Rechbok, terlebih lagi debit yang dicari cukup kecil nilainya sehingga diperlukan keakuratan dalam membaca tinggi elevasi muka air.
- Sulitnya pembacaan pada angka mistar yang berfungsi untuk mengetahui kedalaman penggerusan lokal yang disebabkan karena terjadinya gelombang atau gulungan-gulungan air di atasnya sehingga diperlukan ketelitian yang cukup tinggi.
- Dalam menentukan lokasi terdalam, diperlukan ketelitian mata yang tinggi karena selisih pada kontur yang ada cukup kecil dan mistar tersebut dianjurkan tegak lurus.

atau tidak miring baik akibat tersenggol maupun miring akibat energi pada gulungan-gulungan air.

- Faktor-faktor atau variabel-variabel lainnya yang dapat mempengaruhi pada penelitian kali ini diabaikan. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat yang tersedia di laboratorium. Peningkatan sarana dan peralatan diharapkan dapat membantu lebih jauh lagi untuk memperoleh hasil yang lebih sempurna.

5.3 Penanggulangan Masalah Gerusan Lokal

Untuk mengurangi terjadinya gerusan lokal (*local scouring*) dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

a. Penggunaan rip rap

Bila sedimen dasar sungai memiliki ukuran butir relatif kecil dan mudah tererosi, maka bagian hilir dari ruang olak disarankan diperkuat agar energi air yang lewat menjadi teredam dan tidak merusak sedimen dasar disekitar *end sill* dengan diberi rip rap. Rip rap tersebut berfungsi sebagai selimut lindung bagi sedimen dasar sungai yang berada tepat di hilir ruang olak tersebut. Batu yang digunakan berupa batuan keras, padat serta awet atau *block* beton. Panjang lindungan sebaiknya diambil 4 kali kedalaman gerusan lokal yang dihitung dengan rumus empiris.

b. Penggunaan bronjong

Bronjong dibuat di lapangan, berbentuk bak dari jala-jala kawat yang diisi dengan batu yang cocok ukurannya. Matras jala-jala kawat ini diperkuat dengan kawat-kawat besar atau baja tulangan pada ujung-ujungnya. Ukuran yang biasa adalah 2m x 1m x 0.5 m atau tergantung kebutuhan di lapangan. Bak-bak yang terpisah-pisah kemudian diikat bersama-sama untuk membentuk satu konstruksi yang homogen. Bronjong tidak boleh digunakan untuk bagian-bagian permanen dari bangunan utama, bronjong hanya boleh dipakai untuk pekerjaan-pekerjaan pengatur sungai di hulu atau hilir bangunan pengelak dari batu atau beton.

c. Penggunaan ruang olak bertingkat

Ruang olak yang bertingkat mempunyai tujuan agar kecepatan aliran yang tiba di bawah atau hilir sudah relatif mengecil atau aliran berjalan seperti pada bagian hulu sebelum mengalami terjunan. Penggunaan ruang olak bertingkat ini dapat mengurangi terjadinya penggerusan lokal pada bagian hilir ruang olak tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chow, V.T (1964), *Handbook of Applied Hydrology*, Mc. Graw-Hill, London.
2. Das, Braja M (1998), *Principles of Geotechnical Engineering-Fourth Edition*, PWS Publishing Company, Boston.
3. Direktorat Penyelidikan Masalah Air (1981), *Pengelak Angkutan Sedimen Type Undersluice*, Bandung.
4. Garde, R.J , K.G Ranga Raju (1985), *Mechanics of Sediment Transportation and Alluvial Stream Problems*, India.
5. Graf, H.W (1971), *Hydraulics of Sediment Transport*, Mc. Graw-Hill, United States of America.
6. Hwang, C.H. Ned (1981), *Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems*, Houston.
7. Kodoatie, Robert ,Dr.Ir,M.Eng (2002), *Hidrolika Terapan*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
8. Ranga Raju, K.G (1981), *Flow Through Open Channels*, Mc. Graw-Hill, New Delhi.
9. Simons, Daryl B, Ph.D,P.E and Fuat Senturk, Ph.D (1992), *Sediment Transport Technology:Water and Sediment Dynamics*, Water Resources Publications, United States of America.
10. Sub Direktorat Perencanaan Teknis (1986), *Buku Petunjuk Perencanaan Irigasi KP-01, KP-02, KP-04 dan KP-06*, Penerbit CV. Galang Persada, Bandung

RIWAYAT PENULIS

[1] **Maria Christine Ir.,M.Sc.**, adalah dosen jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha

[2] **Robby Yussac Tallar**, adalah Asisten dosen jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Maranatha