

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Pada daerah hilir bendung terjadi perubahan kecepatan dari superkritik menjadi subkritik, pada daerah perubahan kecepatan ini akan terjadi proses pelepasan energi akibat perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Gejala proses perubahan ini sering disebut sebagai fenomena loncat air.

Daerah transisi akibat perubahan kecepatan yang mendadak merupakan daerah paling rentan terhadap bahaya gerusan, dan dapat membahayakan konstruksi bendung secara keseluruhan. Usaha untuk mengurangi gerusan pada daerah transisi ini dengan mengusahakan agar kecepatan didekat daerah yang bersifat "erodibel" menjadi cukup kecil, atau memilih konstruksi pada daerah "erodibel" dengan bahan maupun konstruksi yang aman terhadap gerusan.

Konstruksi bangunan air yang dianggap mampu menahan gerusan yang mungkin terjadi adalah konstruksi lantai bawah bendung, ataupun konstruksi "rip-rap".

Bangunan lantai bawah relatif lebih mahal dibanding "rip-rap", untuk itu perlu kiranya dipertimbangkan faktor-faktor yang berpengaruh dalam menentukan panjang lantai bawah seperti :

- a) beda selisih muka air hulu dan muka air hilir,
- b) debit banjir rencana,



- c) "debris" yang dibawa aliran,
- d) panjang olakan yang terjadi,
- e) tipe kolam olakan.

Pengaruh gerusan yang tidak terlalu berbahaya dapat dipikirkan konstruksi lantai bawah yang pendek dengan kombinasi bangunan ambang pada lantai bawah/"baffle" sebagai usaha pemecah energi, ataupun dibuatkan perpanjangan lantai bawah dengan menggunakan "rip-rap".

Kedalaman gerusan juga mempunyai hubungan dengan debit sungai yang dihasilkan dari proses hidrologi. Andil proses hidrologi digunakan untuk menentukan debit banjir rencana suatu bangunan air dan debit banjir rencana berhubungan langsung dengan kedalaman gerusan pada hilir bendung.

Pada rekayasa hidrologi, penelusuran banjir merupakan teknik yang penting, yang diperlukan untuk mendapatkan penyelesaian yang lengkap mengenai persoalan pengendalian banjir dan peramalan debit banjir.

Faktor-faktor yang berpengaruh pada debit banjir rencana seperti :

- a) intensitas dan lama curah hujan,
- b) topografi wilayah aliran sungai,
- c) luas daerah aliran sungai,
- d) kala ulang banjir rencana,
- e) serta jenis tanah di sekitar daerah aliran sungai

Alam Indonesia mempunyai karakteristik yang khas yaitu dengan curah hujan tinggi pada musim penghujan serta

topografi alam yang berbukit dan bergunung-gunung dan dengan kelandaian sungai relatif curam. Keadaan ini akan mempengaruhi sifat-sifat umum sungai khas Indonesia yaitu dengan debit besar serta adanya transportasi sedimen yang relatif lebih aktif (terletak dekat dengan sumber-sumber bahan sedimentasi, seperti lava gunung berapi yang aktif). Sungai dengan arus deras biasanya mengandung sedimen dengan konsentrasi tinggi, yang dihasilkan dari runtuhnya tebing-tebing sungai (sebagai sedimen luruh). Sebagian dari kandungan sedimen tersebut diendapkan sepanjang sungai di luar daerah pegunungan. Sedimen luruh dapat terjadi pada saat hujan lebat.

Apabila volume sedimen yang terangkut dari bagian hulu cukup besar, maka dasar sungai di daerah hilir titik peralihan ("intersection point") yaitu batas antara "agradasi" dan "degradasi") akan bergeser kearah hilir. Keadaan ini menyebabkan penampang melintang pada daerah hulu cenderung menjadi lebih curam, sedang daerah hilir akan cenderung lebih landai.

Adanya bendung guna keperluan irigasi tak luput dari pengaruh keadaan alam seperti tersebut diatas. Bahaya gerusan dan sedimentasi menjadi nyata ketika banjir datang dengan kecepatan aliran yang tinggi akan menyebabkan gerusan pada bagian hilir bendung dapat terjadi.

2.2 Definisi dan Tinjauan Konsep Gerusan lokal

Gerusan lokal didefinisikan sebagai akibat gangguan setempat dari aliran dan medan tranpor sedimen yang

disebabkan oleh kenaikan kecepatan aliran rata-rata setempat dan atau intensitas turbulensi yang mengakibatkan kapasitas transpor sedimen setempat meningkat (Breuser, 1984).

Sedang Simon (1977) berpendapat bahwa gerusan lokal terjadi dalam daerah-daerah arus yang tidak seragam dimana campuran air dan sedimen mengalami perlambatan atau percepatan. Penyebab utamanya adalah fluktuasi gaya-gaya akibat adanya pusaran air. Gaya-gaya tersebut seperti gaya tekan, gaya angkat dan gaya memotong (akibat aliran turbulen).

Konsep gaya-gaya yang menyebabkan gerusan lokal sudah banyak dipelajari/diteliti seperti oleh Urbonas (1968) dan Simon (1977), Urbonas melakukan penelitian tentang gaya-gaya yang menyebabkan gerusan dengan cara mengukur tekanan pada suatu daerah yang berbentuk lingkaran diantara partikel-partikel batuan yang menyusun kolam bangunan pelimpah. Urbonas menyimpulkan bahwa pada gerak awal suatu batuan dasar disebabkan :

a) gaya angkat pada suatu partikel lebih besar daripada gaya tarik (dengan "fluid shear stress" diabaikan),

b) tekanan pada titik terendah partikel tersebut kira-kira sama dengan tekanan hidrostatis, yakni tekanan yang berasal dari kolam air dengan ketinggian setara dengan kedalaman arus pada titik terendah,

c) dianggap naik turunnya tekanan pada permukaan

partikel berupa suatu gaya angkat rata-rata dan gaya angkat yang berfluktuasi,

d) tekanan tertinggi terletak didekat bagian atas partikel dan hampir berharga nol pada titik terendah pada partikel tersebut. Dapat diasumsikan bahwa tekanan pada setengah dari ketinggian partikel atau lebih rendah, tekanan bersifat hidrostatis dan konstan dengan waktu.

Sedang Simon (1977), menyimpulkan gerak awal partikel pada dasar saluran disebabkan karena :

a) suatu kombinasi gaya angkat (keatas) dan tarik yang dikarenakan gerakan fluida menyebabkan pemindahan partikel. Salah satu dari kedua gaya tersebut dapat mendominasi. Geometri dari masing-masing partikel dan geometri dari batuan sekeliling merupakan faktor utama yang menentukan apakah partikel tersebut terlindungi dari partikel sekelilingnya atau tidak,

b) kecepatan rata-rata dalam "vicinitas" partikel hanya merupakan satu-satunya dari sifat-sifat arus yang mengontrol permulaan gerakan partikel. Diasumsikan kenaikan gaya angkat rata-rata dan kecepatan rata-rata dalam "vicinitas" partikel terkait langsung, maka dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$(F1) \text{ rata-rata} = (U)^2 \text{ rata-rata} \dots\dots\dots (2.1)$$

Suatu partikel dapat dikatakan stabil meskipun terjadi gaya angkat rata-rata cukup besar (gaya yang

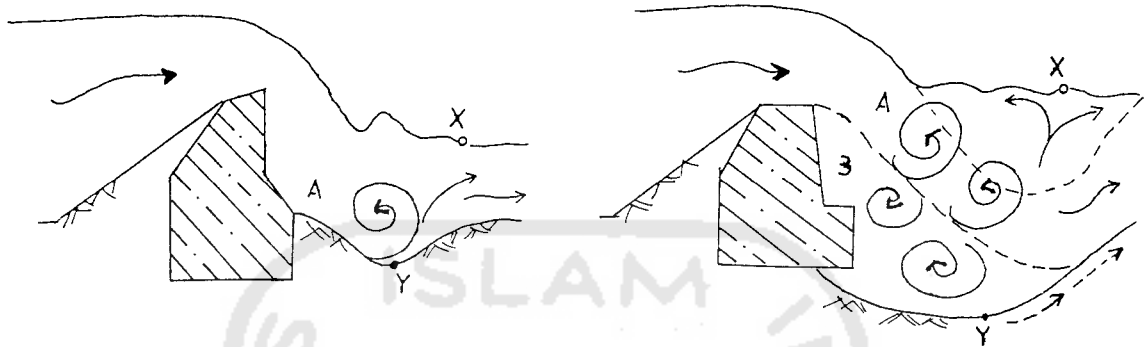
terjadi belum mampu memindahkan partikel).

Dalam arus aliran yang seragam, gaya-gaya berfluktuasi secara langsung terkait dengan sifat-sifat arus (kecepatan rata-rata dan tingkat turbulensi) dan merupakan fungsi-fungsi kekasaran partikel pada bagian dasar.

Partikel-partikel pasir relatif kecil akan menghasilkan medan turbulen dengan intensitas skala rendah dalam arus tersebut, kecuali jika terbentuk bukit pasir. bukit-bukit pasir menghasilkan tingkat turbulensi yang lebih besar dari masing-masing partikel.

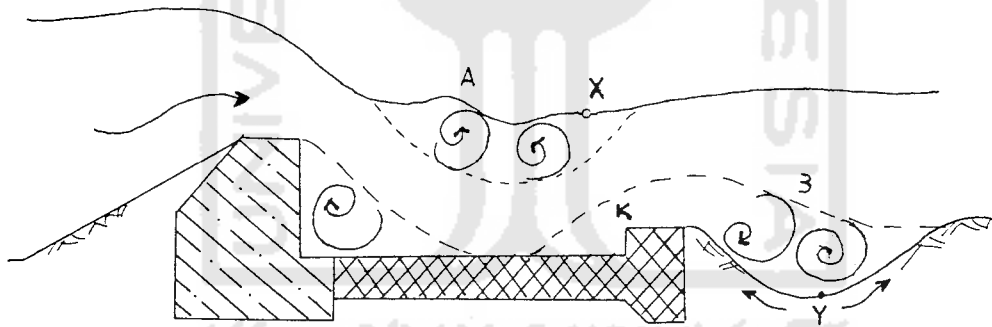
Mekanisme hidraulik dari gerusan telah dicoba diverifikasi melalui tes model dalam laboratorium oleh A. Smrcek (1931). Pada kenyataannya, pusaran vertikal merupakan hasil interaksi antara massa air yang berada pada kedudukan tenang atau bergerak dengan amat lambat dengan massa air lain yang bergerak pada kecepatan tinggi. Bagian tengah antara kedua volume tersebut kemudian mengikuti efek gesekan atau gaya geser, yang merupakan suatu pasangan, dan menyebabkan partikel-partikel air berotasi, dan sekaligus menghasilkan suatu pusaran.

Ilustrasi pola arus dan efek-efek akibat pusaran yang terjadi pada bendung dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 2.1.a
Bendung Tanpa Lantai Bawah

Gambar 2.1.b
Bendung Tanpa Lantai Bawah
dengan Peningkatan Debit



Gambar 2.1.c
Bendung dengan Lantai Bawah

Keterangan gambar :

- a) Gambar 2.1.a menggambarkan sebuah bendung tanpa lantai bawah. Terdapat satu pusaran yakni pusaran tipe A dengan arah pusar negatif (berlawanan arah jarum jam) dan terjadi pada dasar lantai. Pusaran negatif hampir selalu bersifat erosif, merugikan terutama bila

mencapai dasar saluran karena menimbulkan gerusan dan hasil-hasil gerusan tertimbun pada sebelah hilir dan menyebabkan rintangan bagi arus air itu sendiri. Titik x merupakan titik netral atas yaitu batas dimana arus permukaan berganti dari aliran hulu ke aliran hilir, sedang titik y adalah titik netral dasar yang biasanya merupakan titik terdalam terjadinya gerusan.

- b) Gambar 2.1.b dimisalkan limpasan air diatas bendung meningkat secara bertahap, kondisi ini menyebabkan peningkatan kedalaman gerusan. Adanya pusaran negatif dan pusaran positif, yang menyebabkan partikel-partikel tanah pada dasar lubang dipindahkan ke arah hilir.
- c) Gambar 2.1.c adalah bendung dengan sebuah lantai bawah. Lantai bawah merupakan elemen pertama dan sangat diperlukan dari semua kerja perlindungan terhadap gerusan. Untuk mengurangi panjang lantai bawah tanpa mengurangi efektifitas dari konstruksi secara keseluruhan dapat dibangun suatu ambang pada dinding K. Adanya ambang ini menyebabkan suatu pusaran dasar B positif dengan sekaligus menyebabkan partikel-partikel tanah tertimbun pada lantai bawah.

2.3 Tinjauan Hasil Penelitian tentang Gerusan

2.3.1 Tinjauan Hasil Penelitian Agus Sumaryono, dkk

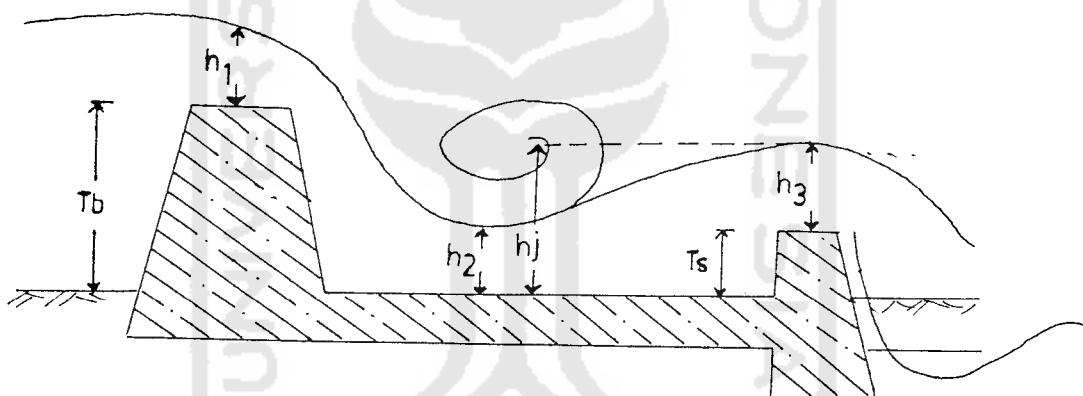
Untuk mendapatkan rumus tentang kedalaman gerusan, Agus Sumaryono, dkk melakukan serangkaian uji model hidraulik. Gambaran umum model adalah berbentuk "flume"

dengan lebar 1,0 m panjang 20.00 m, dasar saluran berupa material pasir dengan sebaran diameter butiran sesuai dengan material dasar sungai yang tinjau dengan ketebalan 20 cm.

Kondisi model hidraulik ini dibedakan dalam 3 kondisi yang berlainan, yaitu :

1) Model A

Yaitu model bangunan bendung seperti dalam ilustrasi berikut :



Gambar 2.2

Model Bendung pada Penelitian Agus.S

Keterangan gambar :

T_b = tinggi mercu bendung

T_s = tinggi sub dam

h_1 = tinggi muka air dari puncak bendung

h_2 = tinggi muka air diukur dari kolam olak

h_3 = tinggi muka air diukur dari subdam/ambang bawah

h_j = tinggi muka air diukur dari lantai bawah

Hasil Uji model disajikan dalam tabel 2.1. sebagai berikut :

Tabel 2.1
Uji Model A dengan Hasil Uji Model Model A
dari Penelitian Agus. dkk

No	Debit (l/dt)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	hj (cm)	Dalam gerusan (cm)	panjang gerusan (cm)
1	1	0,65	1,35	1,14	1,64	2,25	10,5
2	4	1,42	0,92	1,34	1,84	5,85	93
3	10	6,72	0,57	1,4	1,9	8,21	90

catatan : dalam gerusan dimaksud lihat gambar 2.4
panjang gerusan dimaksud lihat gambar 2.3

2) Model B

Yaitu model bangunan hasil modifikasi model model A dengan merubah tinggi mercu "sub dam" dengan ketinggian 1,5 cm, 1,8 cm an 2,1 cm dari permukaan lantai bawah. Hasil uji model hidraulik seperti dalam tabel berikut ini

Tabel 2.2
Uji Model Model B dengan Hasil Uji Model Model B
dari Penelitian Agus. dkk

No	Tinggi sub dam (cm)	debit (l/dt)	Gerusan max. yang terjadi		
			kiri	tengah	kanan
4	1,5	4	2,98	3,81	2,17
5	1,8	4	2,32	3,32	2,43
6	2,1	4	1,975	3,51	1,95

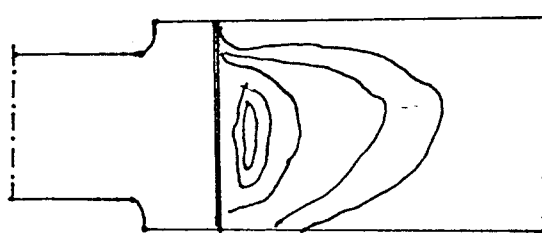
3) Model C

Yaitu model bangunan dengan mengubah panjang lantai belakang menjadi 11 cm, 2 kali panjang lantai belakang (28 cm), dan 3 kali panjang lantai belakang (42 cm) sedang debit yang dipakai adalah 4 liter/detik. Hasil uji model hidraulik model C seperti dalam tabel berikut :

Tabel 2.3
Uji Model C dengan Hasil Uji Model Model C
dari Penelitian Agus. dkk

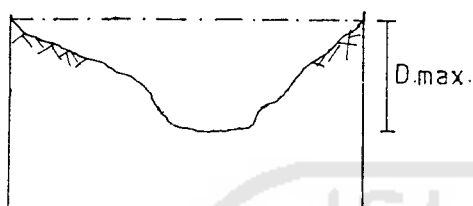
No	panjang lantai bawah (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	Dalam gerusan (cm)	panjang gerusan (cm)
7	11	1,36	1,18	1,06	6,4	20
8	28	1,396	1,203	1,226	6,16	27
9	42	1,43	1,163	1,86	5,45	24

Ilustrasi penampang memanjang dan penampang melintang dari gerusan disajikan dalam gambar berikut ini



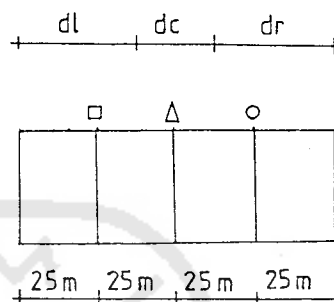
Gambar 2.3

Pola Gerusan dalam Penampang Memanjang



Gambar 2.4

Pola Gerusan dalam
Penampang Melintang



Gambar 2.5

Pembagian Daerah Gerusan
dalam Penampang Melintang

Keterangan gambar :

- Dmak = kedalaman gerusan maksimal
- Lmak = panjang gerusan maksimal
- dl = kedalaman gerusan pada sisi kiri
- dr = kedalaman gerusan pada sisi kanan
- dc = kedalaman gerusan pada sisi tengah

Dari uji model hidraulik yang dilakukan oleh Agus.

Sumaryono dkk menyimpulkan :

a) Untuk menanggulangi gerusan lokal yang terjadi di hilir bangunan ("sub dam"), dengan meninggikan mercu sub dam yang bertujuan untuk meredam energi ternyata lebih baik dibandingkan dengan memperpanjang lantai belakang,

b) ditinjau dari gerusan yang terjadi pada model B, maka tinggi mercu sub dam 2,1 cm dari permukaan lantai bawah adalah yang paling baik dibanding dengan lainnya.

2.3.2 Hasil Penelitian Hari Yuwono, dkk

Hari Yuwono, dkk melakukan serangkaian uji hidraulik guna memperoleh pola dan kedalaman gerusan yang mungkin terjadi. Gambaran umum model hidraulik adalah disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.4
Macam Model Bendung yang Dipakai dalam Penelitian
Hari Yuwono, dkk

Notasi Model	Konstruksi bendung		asal pasir sebagai bahan gerusan
	lantai bawah	konstruksi tambahan	
A	tidak diperpanjang	-	Kali Krasak
B	tidak diperpanjang	"baffle"	Kali Krasak
C	diperpanjang	"baffle"	Kali Krasak
D	diperpanjang	"baffle"	Pantai Samas
E	tidak diperpanjang	"baffle", "chicanes"	Kali Krasak
F	diperpanjang	"baffle", "chicanes"	Kali Krasak
G	diperpanjang	"baffle", "chicanes"	Pantai Samas

Keterangan tabel :

"Baffle" adalah konstruksi ambang bawah

"Chicanes" adalah konstruksi penyearah aliran air

Tabel 2.5
Dimensi Prototipe dan Model Bendung
pada Penelitian Hari Yuwono, dkk

Parameter	Prototipe	Model Fisik
debit	5.825 m ³ /dt	19,77 l/mn
	11.608 m ³ /dt	39,40 l/mn
	14.399 m ³ /dt	48,87 l/mn
	21.565 m ³ /dt	73,19 l/mn
	43.583 m ³ /dt	147,93 l/mn
	101.605 m ³ /dt	344,86 l/mn
lebar bendung	24 m	48 cm
tinggi bendung	1,55 m	3,1 cm
tinggi ambang	0,5 m	1 cm

Analisa ketinggian muka air hulu dari penelitian Hari Yuwono ditampilkan dalam bentuk persamaan yang sudah dilakukan kalibrasi. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut :

Persamaan debit dan tinggi muka air hulu ditulis :

$$Q = 0,6159 h^{2,7071} \dots\dots\dots (2.2)$$

Persamaan debit dan tinggi muka air hilir ditulis :

$$h = 0,1735 Q^{0,5626} \dots\dots\dots (2.3)$$

Setelah diadakan serangkaian uji pada beberapa debit yang berbeda didapatkan persamaan kedalaman gerusan sebagai berikut :

$$\text{Model A, } R = 0.1750 Q^{2/3} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Model B, } R = 0.1500 Q^{2/3} \dots\dots\dots (2.5)$$

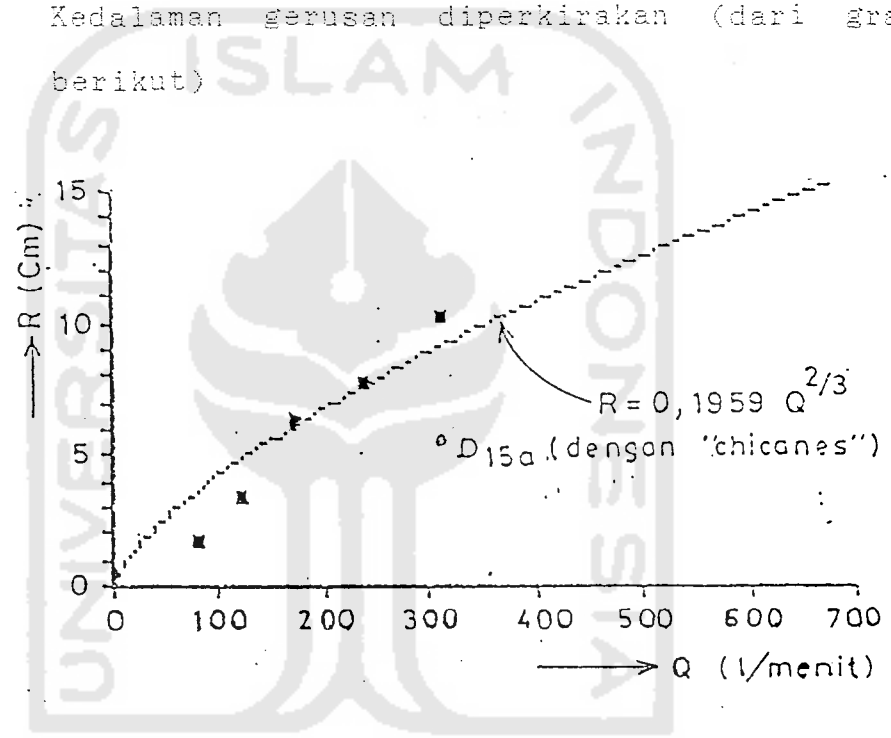
$$\text{Model C, } R = 0.1959 Q^{2/3} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Model D, } R = 0.2265 Q^{2/3} \dots\dots\dots (2.7)$$

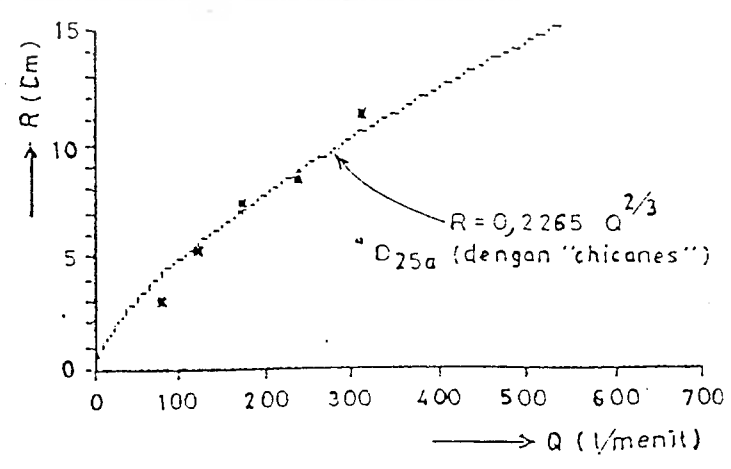
Uji untuk model E, F, dan G hanya dilakukan uji pada satu debit yaitu debit 331,7 lt/mnt dengan hasil kedalaman gerusan sebagai berikut :

Model E = 6,91 cm bila tanpa "chicanes" = 7.11 cm
Model F = 5,1 cm bila tanpa "chicanes" = 10,75 cm dan
Model G = 5,2 cm bila tanpa "chicanes" = 10,25 cm).

catatan : model F dan G kedalaman gerusan tidak dihitung oleh peneliti, namun disajikan dalam grafik. Kedalaman gerusan diperkirakan (dari grafik berikut)



Gambar 2.6
Kedalaman Gerusan Versus Debit Kasus F



Gambar 2.7
Kedalaman Gerusan Versus Debit Kasus G

2.3.3 Hasil Penelitian R. Jurisch

Tujuan penelitian R. Jurisch (1985), adalah mencari hubungan antara kedalaman gerusan pada beberapa nilai bilangan Froude yang berlainan, serta hubungan ukuran diameter butiran dengan bentuk dan kedalaman gerusan.

Jurisch melakukan uji gerusan pada serangkaian model hidraulis pada kolam berbentuk empat persegi panjang yang berukuran 9.5 cm X 10.0 cm yang mendapat aliran air dari sebuah pipa dengan garis tengah 2.50 cm. Pada kolam yang diperkirakan akan terjadi gerusan diberikan material tertentu, yaitu material pasir dengan 3 ukuran butiran yang berbeda, masing-masing sebagai berikut :

Model A, model dengan diameter pasir 1 - 2 mm

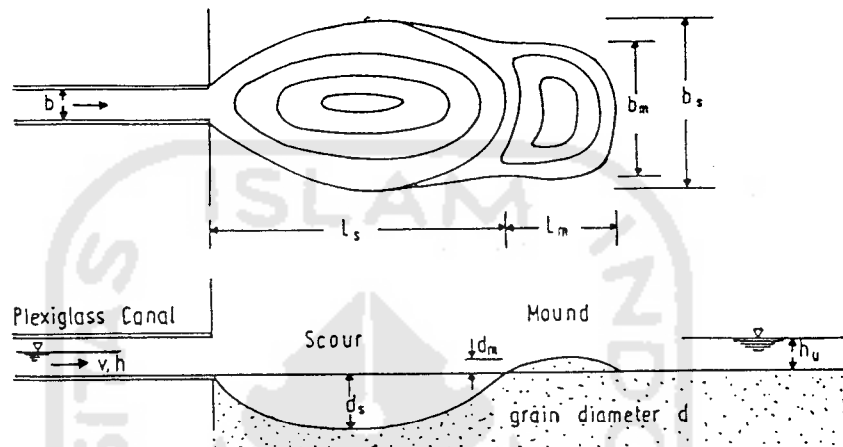
Model B, model dengan diameter pasir 3 - 4 mm

Model C, model dengan diameter pasir + 5 mm

Kolam tempat terjadi gerusan memakai bahan dasar dari pasir dengan ketebalan 50 cm dan ketinggian 4cm. Beda tinggi muka air hulu dengan hilir selalu berbeda dengan selisih tinggi berkisar 0 - 100 cm.

Lama masing-masing pelaksanaan berlangsung hingga tak ada lagi material yang ditransportasikan keluar dari medan gerusan, dan pada kondisi ini kedalaman gerusan mencapai hasil yang maksimal (telah terjadi laju gerusan stabil). Waktu yang diperlukan guna mencapai laju gerusan stabil adalah 72 jam dan ada yang hanya berlangsung selama 3 - 4 jam saja. Setelah mencapai kedudukan asimtot, arus air pada saluran dihentikan dan profil-profil dasar diukur.

Gambaran umum bentuk model dapat dilihat dalam gambar dibawah ini :

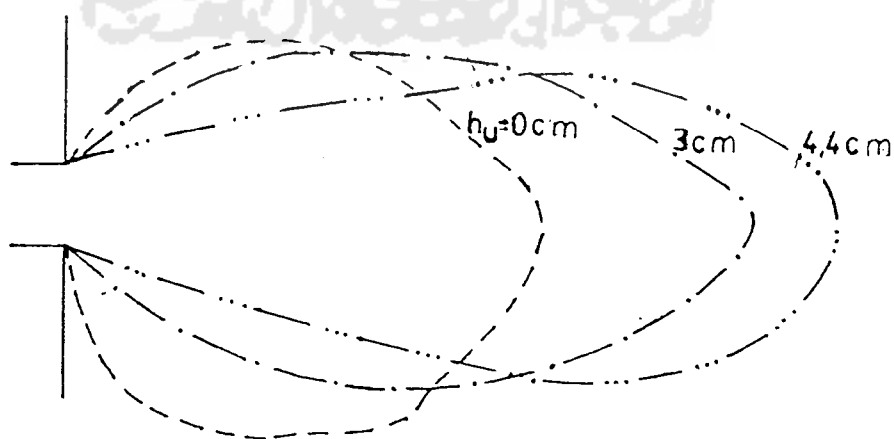


Gambar 2.8

Penampang Memanjang Uji Model R, Jurisch

Hasil-Hasil Uji Model R. Jurisch

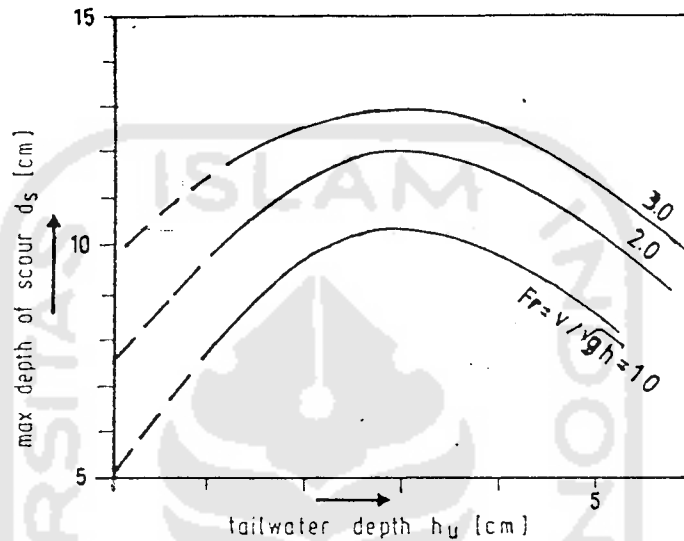
Pola gerusan yang dihasilkan oleh kondisi arus atau aliran yang berbeda diobservasi yang nampak berbeda dan memberikan hasil yang berbeda (lihat gambar 2.9)



Gambar 2.9

Pola Gerusan akibat Perubahan Kedalaman Air Hulu

Variasi kedalaman gerusan versus kedalaman air hulu disajikan dalam gambar 2.10 seperti berikut :



Gambar 2.10

Variasi Kedalaman Gerusan Akibat Perubahan Air Hulu

Terlihat bahwa kedalaman mengalami peningkatan dengan naiknya muka air hilir serta meningkatnya bilangan Froude. Kedalaman asimtot terbesar diperoleh dengan kedalaman hilir sekitar 3 sampai 5 cm.

Hubungan antara skala bilangan Froude dan kedalaman gerusan digambarkan dalam gambar 2.11. Gambar 2.11 menunjukkan suatu linieritas yang mencapai hingga harga bilangan Froude = 3 dan bilangan Froude lebih besar dari 6 dengan bentangan ekponensial yang mengalami kenaikan.