

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Uraian Umum

Pertumbuhan penduduk yang cepat memaksa manusia berusaha memenuhi kebutuhan makanan dengan cara melipatgandakan produksi pertanian pada areal pertanian yang terbatas.

Irigasi merupakan salah satu jawaban permasalahan tersebut, perkembangan pengetahuan tentang irigasi dan usaha-usaha pertanian yang maju didahului dengan perkembangan pengetahuan manusia tentang prinsip-prinsip hidrolis seperti oleh P. Dubuat (1734), Bernouilli (1782), A. Chezy (1798), J. Boussinesq (1929).

Guna keperluan irigasi diperlukan suatu bangunan air yang dapat menyediakan air pada daerah irigasi secara terus menerus. Bangunan bendung dipilih untuk mengatasi hal ini dengan mempertimbangkan hal-hal seperti berikut :

1) terpenuhinya tingkat ketersediaan air pada debit pengambilan yang dapat memenuhi kebutuhan air daerah pertanian,

2) kontinuitas debit dapat terjamin,

3) cakupan daerah irigasi yang tidak begitu luas.

4) biaya pembangunan, perawatan dan pengoperasian yang relatif lebih murah dan mudah (dibandingkan bendungan).

Melihat keuntungan dan manfaat bangunan bendung, maka perlu kiranya dipilih suatu bangunan bendung yang secara teknis aman terhadap bahaya yang mungkin terjadi (seperti gempa, penggeseran, penggulingan, patah, maupun gerusan).

1.2 Latar Belakang Masalah

Salah satu kejadian yang dapat menyebabkan runtuhnya suatu konstruksi bendung adalah adanya gerusan pada hilir bendung. Gerusan ini dapat terjadi akibat adanya proses "degradasi" akibat limpasan air pada puncak bendung, ataupun adanya aliran air di bawah bendung.

Gerusan pada hilir bendung dipengaruhi proses proses "degradasi" yang berlangsung terus menerus selama belum terjadi keseimbangan sedimentasi.

Hal ini sesuai dengan teori tentang sifat alami gerusan lokal yang dikemukakan oleh Laursen (1952) antara lain :

a) laju gerusan akan merupakan imbangan antara material yang ditranspor keluar dari daerah gerusan dengan material yang masuk ke daerah gerusan,

b) laju gerusan akan berkurang dengan bertambahnya ruang gerusan karena erosi,

c) pada suatu saat akan dicapai keadaan batas dimana tidak ada laju gerusan lagi, pada keadaan ini ruang gerusan adalah maksimum (untuk suatu aliran tertentu),

d) batas maksimum gerusan ini dicapai setelah kurun waktu tertentu (secara asimtomatik terhadap waktu).

Adanya aliran bawah bendung ("seepage") berpengaruh pada perilaku butiran pada hilir bendung. Pada keadaan tertentu dapat menyebabkan butiran-butiran pada hilir bendung akan dalam kondisi terapung bahkan terangkat. Kondisi "piping" akibat aliran bawah bendung merupakan gejala dimana butiran-butiran tanah, terutama butiran-butiran yang halus terangkut oleh aliran rembesan. Dengan terangkutnya butiran-butiran yang halus ini lama kelamaan tanah menjadi lebih "porous" (porositas meningkat). Apabila hal ini dibiarkan terus, lama kelamaan bangunan air tersebut dapat jebol.

Akibat aliran bawah bendung juga dapat menyebabkan apa yang disebut "uplift pressure" yaitu terangkatnya bangunan air akibat naiknya tekanan hidrostatis (tekanan air pori). Besarnya tekanan air ke atas ini harus dapat diimbangi oleh berat konstruksi itu sendiri dan tahanan ke bawah oleh pondasi.

Gerusan di hilir bendung juga dipengaruhi adanya limpasan air yang melimpah diatas mercu bendung terutama pada butiran yang bersifat "erodible". Kedalaman gerusan ini mempunyai hubungan yang erat dengan bilangan Froude dari aliran, ketinggian muka air di bagian hulu, serta ukuran material pada dasar bagian yang tergerus (R, Jurisch, 1985).

Dapat dimengerti bahwa ukuran material pada dasar mempunyai hubungan dengan gerusan, karena ukuran diameter butiran memberikan harga gaya geser kritis yang berbeda.

Pada ukuran butiran kecil relatif tidak memerlukan gaya yang besar guna memungkinkan butiran tersebut bergerak.

Tekanan hidrostatis air memberi harga tidak sama pada kedalaman air yang berbeda, semakin dalam muka air hilir semakin besar pula tekanan hidrostatis yang dihasilkan. Tekanan hidrostatis yang besar memungkinkan butiran pada dasar dapat mengalahkan tahanan gaya geser kritis, sehingga memungkinkan butiran tersebut bergerak.

Limpasan air diatas mercu bendung pada keadaan tertentu menyebabkan terjadinya pusaran-pusaran air pada daerah hilir. Pusaran air menyebabkan gaya-gaya seperti gaya angkat, maupun gaya geser yang terjadi pada bagian hilir bendung. Keadaan ini menyebabkan bagian dasar yang bersifat "erodibel" dan belum stabil akan tergerus.

Gerusan juga mempunyai hubungan dengan bilangan Froude, pada keadaan tertentu laju gerusan berbanding lurus dengan bilangan Froude (bilangan Froude antara 1 - 4,5). Ketika bilangan Froude terletak antara 4,5 - 9,0 maka terjadi gaya-gaya perlawanan pada daerah pusaran sehingga gerusan yang terjadi relatif tidak berbahaya.

Banyak studi mengenai gerusan akibat limpasan air diatas mercu bendung seperti : Eggendberger-Muller, Kotoulas, Lacey, Breuser, Schoklisch, Jagger, Cartens, Doddiah, Franke, Valentine, Altinbilek, Okyay, Sergey Leliavsky, A.Veronesse, dan lain-lain. Uji model hidraulik tentang gerusan di hilir bendung juga sudah diteliti di Indonesia, seperti oleh Agus Sumarsono dkk,

dan Hari Yuwono dkk.

1.3 Batasan Masalah

Pada kajian Studi literatur ini, tinjauan gerusan pada hilir bendung dibatasi pada 6 (enam) rumus kajian terhadap limpasan air diatas mercu bendung, meliputi 3 (tiga) rumus yang berhubungan dengan parameter diameter butiran dan 3 (tiga) rumus yang berhubungan dengan parameter debit. Studi ini tanpa kajian gerusan akibat proses "agradasi"/"degradasi" dasar sungai dan akibat rembesan aliran air dibawah bendung.

Asumsi-asumsi yang dipakai adalah :

a) sungai terletak pada daerah lurus, sehingga sifat dan pola aliran hanya terbatas pada sifat aliran laminer saja,

b) sifat material pada daerah tergerus di hilir bendung seragam dengan sifat "erodible" (mudah tererosi),

c) sedimen luruh pada sungai mempunyai diameter butiran relatif kecil,

d) "debris" pada sungai diabaikan (dianggap tidak pernah terjadi),

e) dipilih bendung dengan memakai lantai bawah dan dengan bentuk kolam olak yang tertentu,

f) kemungkinan terjadinya proses "alterasi" dasar sungai akibat "agradasi"/"degradasi" dasar sungai diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Kajian literatur ini mempunyai tujuan, antara lain :

- a) menguraikan teori tentang gerusan akibat limpasan air diatas bendung,
- b) membandingkan dan mengelompokan rumus-rumus rumus gerusan akibat akibat limpasan diatas bendung berdasar kelompok debit maupun menurut kelompok gradasi butiran,
- c) memilih rumus gerusan di hilir bendung yang paling sesuai,
- d) memberikan alternatif dalam perbaikan konstruksi bendung (bila diperlukan).

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 dipilih 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 hidrostatik, 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

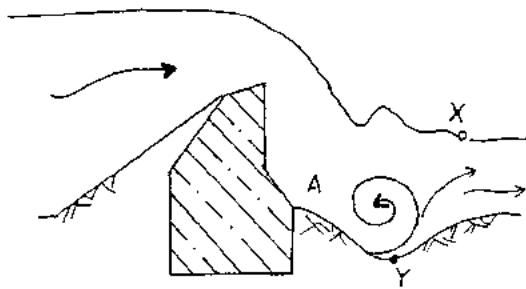
terjadi belum mampu memindahkan partikel).

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.

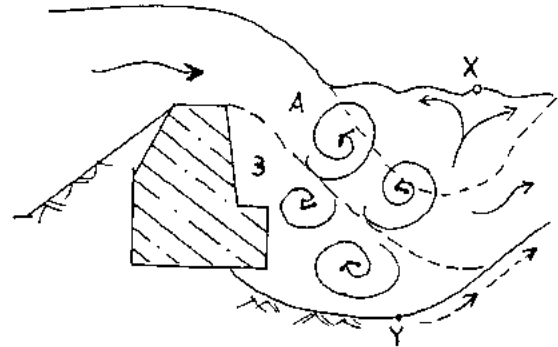
Partikel-partikel pasir relatif kecil akan menghasilkan medan turbulen dengan intensitas skala rendah dalam arus tersebut, kecuali jika terbentuk bukit pasir. bukit-bukit pasir menghasilkan tingkat turbulensi yang lebih besar dari masing-masing partikel.

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.

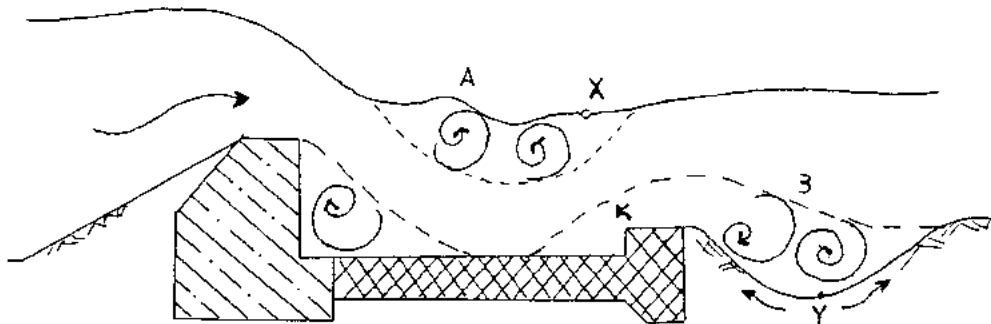
Ilustrasi pola arus dan efek-efek akibat pusaran yang terjadi pada bendung dapat digambarkan seperti berikut :



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 Sunaryono, dkk

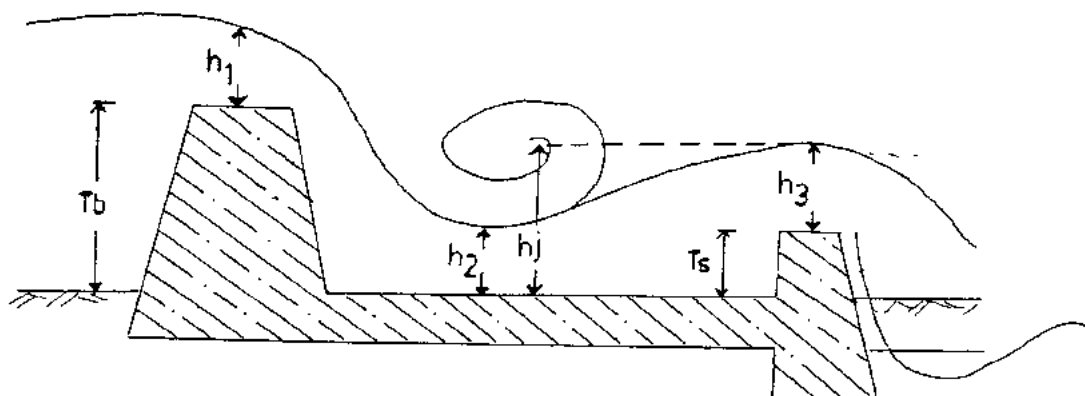
Untuk mendapatkan rumus tentang kedalaman gerusan, Agus Sunaryono, dkk melakukan serangkaian uji model hidraulik. Gambaran umum model adalah berbentuk "flume"

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

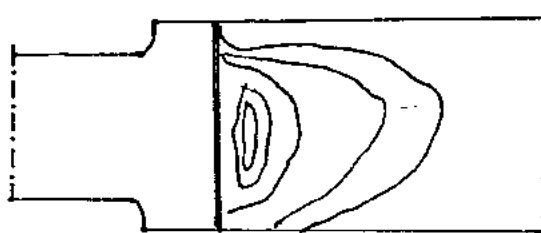
3) Model C

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

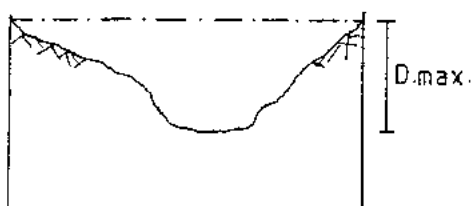
No	panjang lantai bawah (cm)	h1 (cm)	h2 (cm)	h3 (cm)	Dalam gerusan (cm)	panjang gerusan (cm)
7	11	1,36	1,18	1,06	6,4	20
8	28	1,396	1,203	1,226	6,16	27
9	42	1,43	1,163	1,86	5,45	24

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



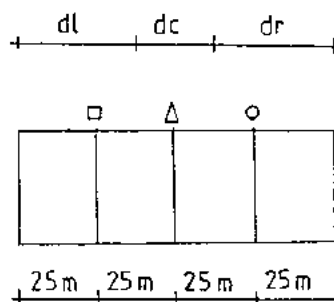
Gambar 2.3

Pola Gerusan dalam Penampang Memanjang



Gambar 2.4

Pola Gerusan dalam
Penampang Melintang



Gambar 2.5

Pembagian Daerah Gerusan
dalam Penampang Melintang

Keterangan gambar :

- D_{mak} = kedalaman gerusan maksimal
- L_{mak} = panjang gerusan maksimal
- d_l = kedalaman gerusan pada sisi kiri
- d_r = kedalaman gerusan pada sisi kanan
- d_c = 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 :

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

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

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

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

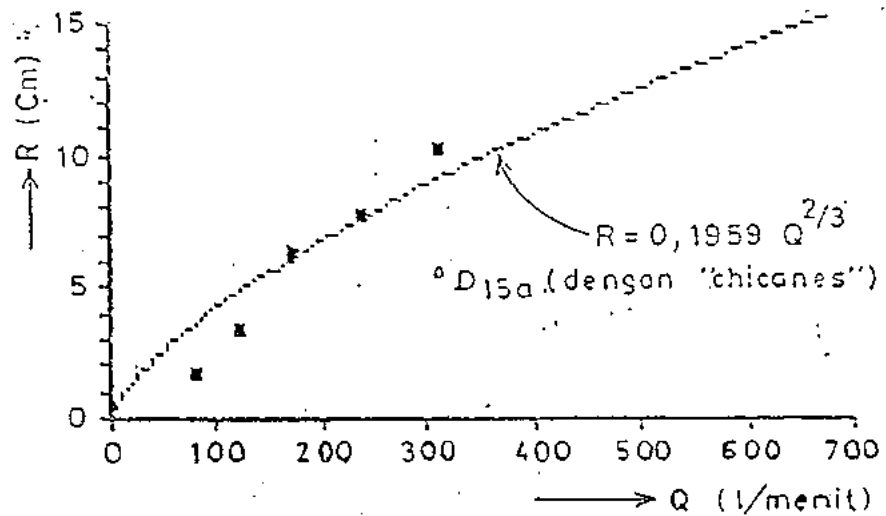
Uji untuk model E, F, dan G hanya dilakukan uji pada satu debit yaitu debit 331,7 lt/mnt dengan hasil kedalaman gerusan sebagai berikut :

Model E = 8,91 cm bila tanpa "chicanes" = 7.11 cm

Model F = 5.1 cm bila tanpa "chicanes" = 10,75 cm dan

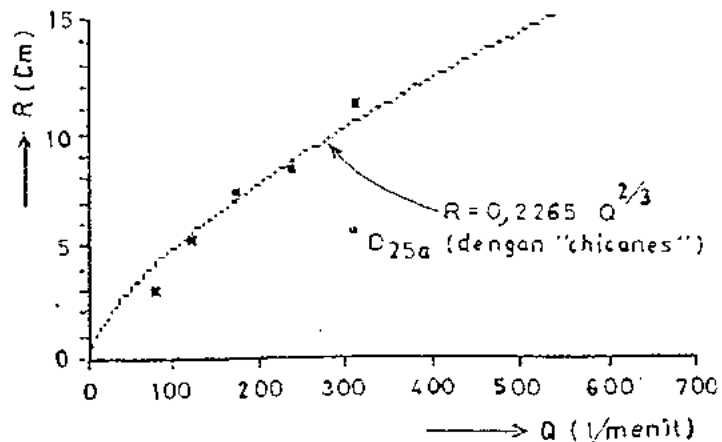
Model G = 5,2 cm bila tanpa "chicanes" = 10,25 cm).

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 3.5 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

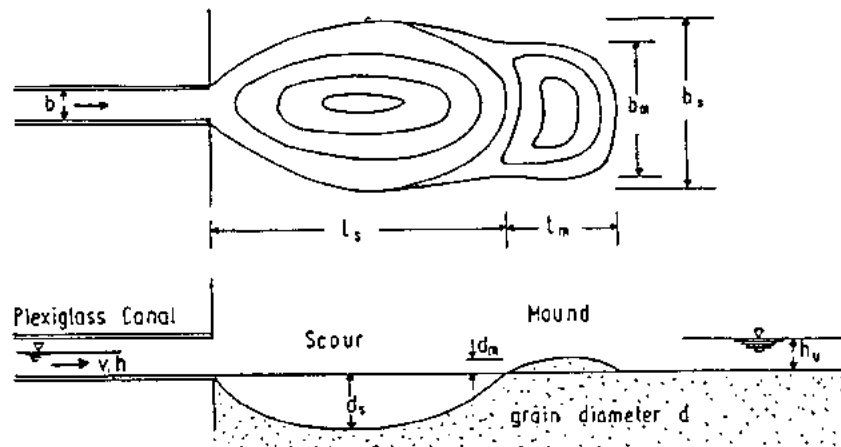
Model B, model dengan diameter pasir 3 - 4 mm

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 :

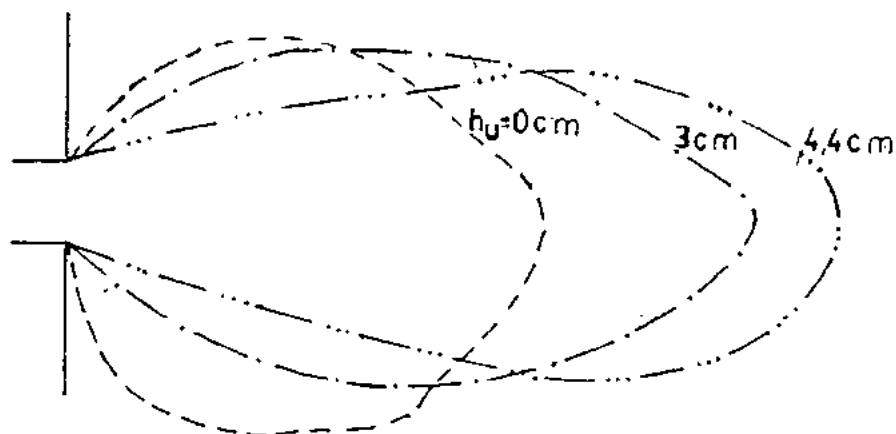


Gambar 2.8

Penampang Memanjang Uji Model R, Jurisch

Hasil-Hasil Uji Model R. Jurisch

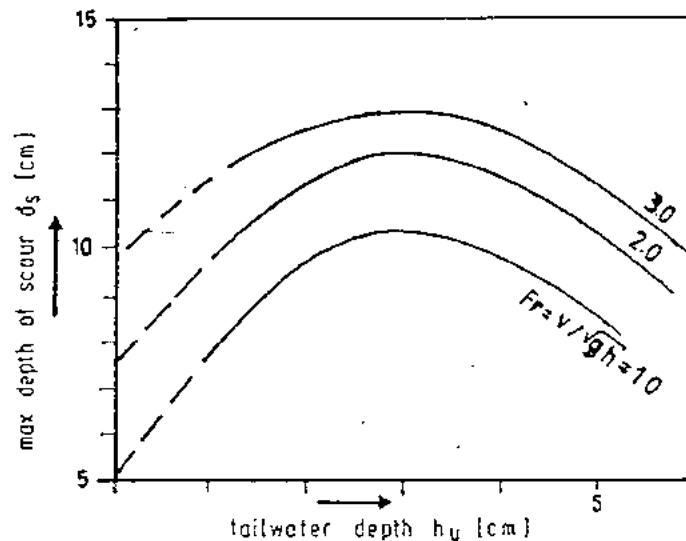
Pola gerusan yang dihasilkan oleh kondisi arus atau aliran yang berbeda diobservasi yang nampak berbeda dan memberikan hasil yang berbeda (lihat gambar 2.6)



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 3 dengan bentangan eksponensial yang mengalami kenaikan.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Parameter yang Berpengaruh pada Gerusan Lokal

3.1.1 Analisa Gradasi Butiran

Untuk mempelajari masalah gerusan, pengetahuan mengenai diameter dan sifat-sifat bahan yang tergerus perlu dipelajari.

Diameter butiran mempunyai hubungan dengan berat butiran, yaitu dengan semakin besar diameter butiran akan memerlukan tenaga yang lebih besar guna memindahkan butiran tersebut pada kedudukan semula. Sedang sifat-sifat butiran menentukan karakteristik butiran pada sekelompok/tempat tertentu. Sebagai misal tanah lempung walaupun mempunyai diameter butiran yang halus tetapi relatif sukar tergerus karena adanya ikatan antara partikel lempung satu sama lain.

Pada studi ini, berdasarkan rumus-rumus yang diteliti (rumus gerusan Schocklith, Eggenberger-Muller, dan Jagger) ternyata ada keseragaman dalam pemilihan ukuran diameter butiran sebagai bahan tergerus, yaitu memilih gradasi D_{90} .

Gradasi D_{90} adalah butiran dengan ukuran partikel dengan 90 persen lolos ayakan. Adapun ukuran saringan yang dipersyaratkan oleh berturut-turut adalah 0,15 mm, 0,3mm, 0,6mm, 1,2mm, 2,4 mm, 4,8 mm dan 10 mm, dst.

Secara Umum Gradasi D_{90} adalah menggambarkan

kebanyakan kondisi alamiah material pada dasar sungai. Material tersebut dapat berupa : kolloid ("colloid"), lempung ("clay"), lumpur ("silt"), pasir ("sand"), kerikil ("gravel"), kerakal ("cobbles").

Beberapa alternatif pemilihan D_{90} diberikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 2.7
Penilihan Gradasi Butiran D_{90}

D_{90} terpilih (mm)	Sumber	Jenis material
1 - 2 3 - 4 5	Penelitian R Jurish sda sda	pasir pasir pasir
1,75 0,25	Penelitian Agus, dkk sda	pasir Krasak terpilih pasir pantai
25 15	Joko, Dep. PU sda	pasir batu 2 pasir batu 1

Pada studi ini gradasi D_{90} yang dipilih adalah berukuran 5 mm.

3.1.2 Debit Aliran

Debit pada bendung merupakan salah satu parameter dalam menentukan kedalaman gerusan. Hal ini dapat dimengerti, dengan semakin tinggi debit yang melalui suatu bendung semakin besar kecepatan yang dihasilkan. Sedang kecepatan aliran berbanding lurus dengan gaya angkat

butiran.

Besar debit dipengaruhi oleh kondisi alam dan buatan. Kondisi alam seperti Curah hujan, luas daerah aliran sungai, kemiringan dasar sungai, dan lain-lain, sedang kondisi buatan yang mempengaruhi debit pada bendung adalah seperti bentuk dari mercu bendung itu sendiri.

Pada studi ini, ada 3 rumus gerusan yang memakai parameter debit sebagai parameter yang menentukan kedalaman gerusan yaitu rumus gerusan oleh Breuser, Lacey, dan A.Veronese.

Dalam studi ini, parameter debit akibat kondisi alam tidak dikaji sebagai parameter yang berpengaruh karena terlalu komplek. Sedang debit aliran akibat bentuk mercu bendung hanya akan dibatasi pada bentuk bendung dengan puncak tajam, hal ini mengingat bahwa sebagian besar bendung mempunyai bentuk seperti ini.

Dalam pemakaian rumus-rumus gerusan debit dihitung untuk tiap meter panjang, hal menunjukkan hubungan besarnya debit aliran dengan lebar sungai. Dengan kata lain debit per meter panjang yang lebih tinggi akan mempunyai efek gerusan yang lebih besar.

Pemilihan variabel debit yang akan dianalisis dipilih debit yang dianggap mewakili kondisi sungai-sungai pada keadaan sungai pada umumnya.

3.1.3 Tinggi Muka Air Hilir

Tinggi muka air hilir yang dimaksud adalah selisih tinggi muka air hilir diukur dari tinggi muka tanah bagian

dasar hilir bendung. Variabel tinggi muka air hilir akan mempengaruhi kedalaman gerusan, karena rumus-rumus yang ada mengukur kedalaman gerusan diukur dari tinggi muka air hilir. Sehingga kedalaman gerusan sebenarnya adalah kedalaman gerusan dikurang tinggi muka air.

Usaha untuk menaikkan muka air biasanya bangunan bendung dilengkapi dengan ambang bawah bendung, menyediakan balok halang bendung, ataupun menyediakan kolam yang memadai. Pada rumus-rumus yang ditinjau hanya memperhatikan tinggi ambang hilir bendung saja yang mempengaruhi kedalaman gerusan

3.1.4 Tinggi Muka Air Hulu

Tinggi muka air hulu yang dimaksud adalah tinggi air tepat diatas puncak bendung, tinggi muka air ini akan dipakai untuk menghitung selisih muka air hulu-hilir. Tinggi muka air hulu ini menentukan besar kecepatan aliran yang melewati bendung

3.1.5 Konstanta

Ada beberapa rumus yang memakai konstanta tertentu guna menemukan kedalaman gerusan, konstanta tersebut merupakan hasil penelitian yang telah dibuat para penemu rumus.

Disini ketetapan/konstanta mempunyai pengaruh langsung dalam menghasilkan gerusan.

Penetapan konstanta ada yang bersifat tidak berubah-ubah pada setiap kondisi sungai (seperti pada rumus

Breuser, Schocklith, Jagger dan Veronesse), namun ada juga ketetapan yang harga berubah-ubah tergantung kondisi yang ditinjau (Lacey dan Eggenberger-Muller)

3.2 Formulasi Model Analisis

Dalam memformulasikan persoalan gerusan akan dilakukan beberapa tahap yaitu :

- a) melakukan perhitungan kedalaman gerusan dengan menggunakan rumus matematik dari beberapa rumus gerusan yang ditinjau,
- b) membuat grafik regresi dari hasil perhitungan gerusan yang telah dilakukan, dan dicoba membuat persamaan baru.
- c) grafik gerusan disuperposisikan (menurut kelompok debit dan menurut kelompok gradasi), dan melakukan regresi, akhirnya dipilih persamaan umum gerusan menurut kelompok debit dan kelompok gradasi,
- d) membandingkan hasil-hasilnya dengan penelitian oleh Hari Yuwono dkk dan Agus S dkk.

Dalam menentukan garis batas kedalaman gerusan dalam model analitik ini akan ditentukan pada kedalaman gerusan yang tidak membahayakan bagi konstruksi bendung secara keseluruhan. Nilai garis batas ini akan ditentukan kemudian.

Untuk parameter debit dan bentuk bendung akan dipakai angka-angka dari hasil penelitian Hari Yuwono dkk serta dari penelitian Agus.S dkk. Maksud dari memakai besaran dari dua penelitian tersebut guna memudahkan dalam

membandingkan hasil akhir.

3.3 Prediksi dari Hasil Evaluasi Model

- a) Pada penelitian Hari Yuwono dkk dan Agus S dkk, hanya menggunakan skala model kinematik, sedang skala model geometrik tidak seluruh diperhatikan, terutama skala geometrik bahan yang tergerus. Dengan demikian kedalaman gerusan kedua penelitian tersebut tidak bisa dibandingkan dengan kedalaman gerusan kelompok gradasi.
- b) Kondisi pengaliran pada masing-masing rumus yang ditinjau berlainan sehingga akan menghasilkan kedalaman gerusan satu sama lain tidak sama.

BAB IV PERHITUNGAN

4.1 Sistematika Perhitungan

- a) Mula mula dipilih model bendung dengan variabel tertentu yang berubah-ubah, seperti debit, tinggi muka air, selisih muka air hulu-hilir, Model tersebut 4 diambil dari penelitian Hari Yuwono, dkk dan 3 diambil dari penelitian Agus S, dkk (analisa model terpilih disajikan dalam sub bab 4.2 pada tabel 4.1 dan 4.2). Untuk stimulasi karakteristik gerusan pada umumnya juga dilakukan penghitungan gerusan pada berbagai gradasi butiran yang berbeda, dengan dimensi bendung dipilih bendung pada percobaan hari Yuwono, dkk.
- b) Dibuat program komputer (dipilih memakai program Turbo Basic) guna menyelesaikan persamaan gerusan. Hasilnya ditampilkan dalam layar sekaligus dalam pencetakan (listing program disajikan dalam lampiran 4, sedang flow chart program disajikan dalam lampiran 5, hasil perhitungannya (running program) ada dalam lampiran 1
- c) Dari program perhitungan dilakukan analisis regresi (dipilih memakai program lotus) dan ditampilkan grafik dari persamaan regresi (perhitungan analisa regresi disajikan pada lampiran 2, grafik analisa regresi disajikan dalam lampiran 3).
- d) Untuk mendapatkan persamaan umum gerusan dilakukan penghitungan persamaan gerusan. Maksud mencari

persamaan umum gerusan adalah agar dapat berlaku pada sembarang variabel yang ditinjau).

Program "Grapher" dipilih untuk membantu membuat persamaan umum tersebut. Dari beberapa persamaan yang dapat dibuat dari program "Grapher" ternyata persamaan linier mempunyai penyimpangan yang relatif paling kecil, untuk itu penghitungan kedalaman gerusan dibuat dalam persamaan linier (hasil perhitungan persamaan linier disajikan sub bab 4.4 dalam tabel 4.3 dan 4.4).

- e) Setelah didapatkan persamaan umum gerusan maka dibuat grafik antara hasil dari rumus-rumus yang ditinjau dengan hasil percobaan dilaboratorium (grafik disajikan dalam lampiran 6).
- f) Dari hasil hasil perhitungan dan grafik akan dibahas pada bab selanjutnya.

Gambaran umum perhitungan dan penyelesaian pada studi ini dijelaskan pada flow chart pada sub bab 4.3

4.2 Analisa Dimensi dan Aliran Bendung Terpilih

Tabel 4.1
Analisa Dimensi Bendung

Seri	Model			Prototipe			Debit (p) (Q2) m ³ /dt/m'
	Debit (Q1) lt/mnt	Lebar (b) cm	Tinggi (h)	Debit Q m ³ /dt	Lebar (b) m	Tinggi (tb) m	
A	19.77	48	3.1	5.83215	24	1.5	0.24300625
	39.4	48	3.1	11.623	24	1.5	0.48429166
	73.19	48	3.1	21.59105	24	1.5	0.89962708
	147.93	48	3.1	43.63935	24	1.5	1.81830625
	344.66	48	3.1	101.6747	24	1.5	4.23644583
B	19.77	48	3.1	5.83215	24	1.5	0.24300625
	31.5	48	3.1	9.2925	24	1.5	0.3871875
	48.87	48	3.1	14.41665	24	1.5	0.60069375
	73.19	48	3.1	21.59105	24	1.5	0.89962708
	147.93	48	3.1	43.63935	24	1.5	1.81830625
C	31.5	48	3.1	9.2925	24	1.5	0.3871875
	48.87	48	3.1	14.41665	24	1.5	0.60069375
	73.19	48	3.1	21.59105	24	1.5	0.89962708
	105.78	48	3.1	31.2051	24	1.5	1.3002125
	147.93	48	3.1	43.63935	24	1.5	1.81830625
D	31.5	48	3.1	9.2925	24	1.5	0.3871875
	48.87	48	3.1	14.41665	24	1.5	0.60069375
	73.19	48	3.1	21.59105	24	1.5	0.89962708
	105.78	48	3.1	31.2051	24	1.5	1.3002125
	147.93	48	3.1	43.63935	24	1.5	1.81830625
E	60	100	4	100	100	4	1
	240	100	4	400	100	4	4
	600	100	4	1000	100	4	10
F	240	100	4	400	100	4	4
	240	100	4	400	100	4	4
	240	100	4	400	100	4	4
G	240	100	4	400	100	4	4
	240	100	4	400	100	4	4
	240	100	4	400	100	4	4

Table 4.2
Arahban Allurem

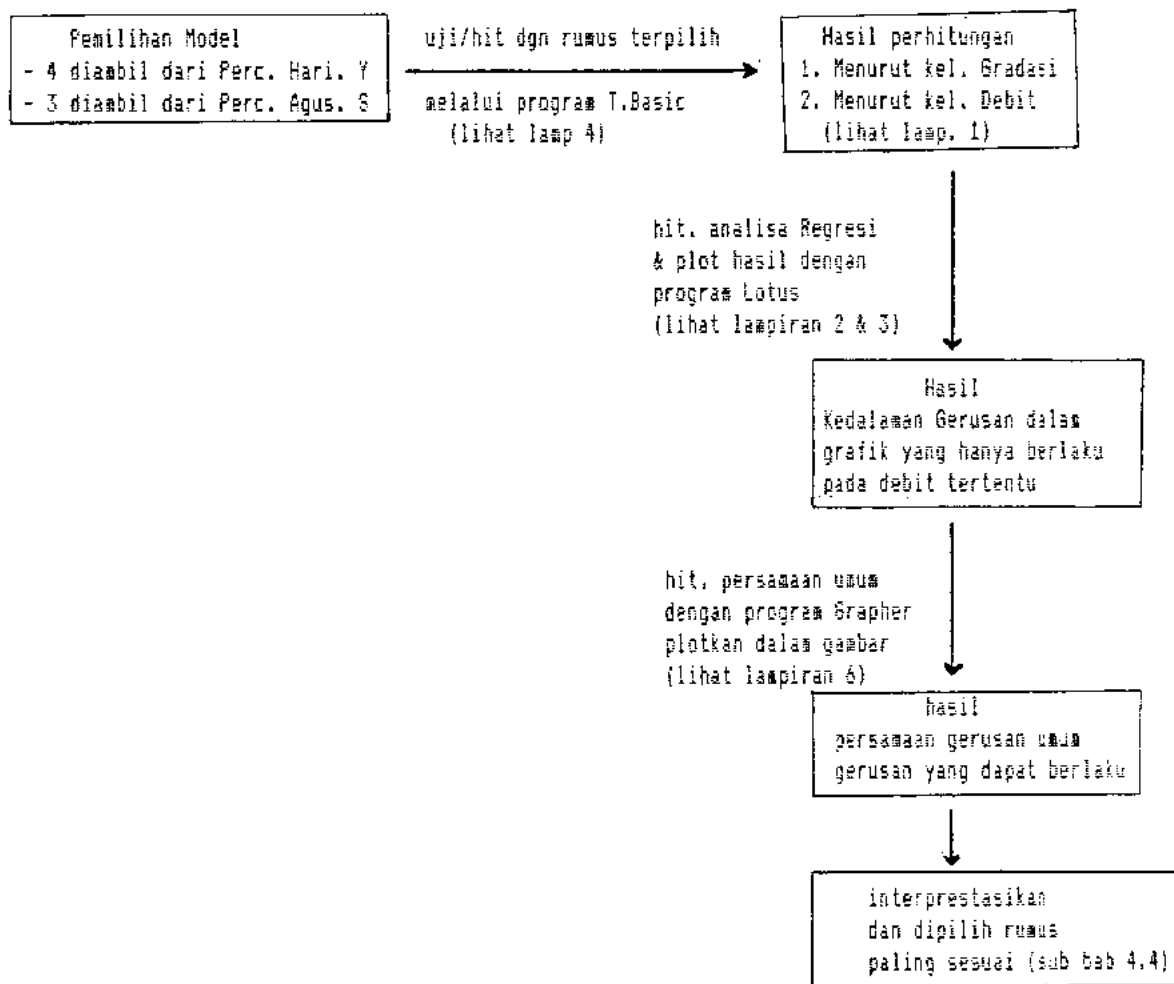
Seri	Debit (Q) (Q2) m3/dt/m'	m.a hulu (hu) m	m.a hilir (hi) m	Kec. air (V) m/dt = Q(2)/hi	hil. lng (h) m = Vt ~ 2(2-g)	ting. Amb (am) m	tingg. bend (tb) m	sel. HU-Ht (H) m = lb+hu+hf - am - hi	bil. Froude (Fr) = V/(ghi) ^ 2
A	0.243006	0.078460	0.904227	3.0971737	0.489136	0	1.5	1.16314658	3.530247355
	0.484291	0.115681	1.166244	4.1664172	0.6932787	0	1.5	1.34271430	3.929848080
	0.899627	0.163940	1.465662	5.4875194	1.5348047	0	1.5	1.73300264	4.327114088
	1.818306	0.243636	1.900212	7.4632028	2.8389090	0	1.5	2.68233307	4.827472931
	4.236445	0.392239	2.596262	10.800664	5.9456857	0	1.5	5.24156272	5.506052826
B	0.243006	0.078460	0.904227	3.0971737	0.489136	0.5	1.5	0.66314658	3.530247355
	0.387187	0.101987	1.073811	3.7964035	0.7345912	0.5	1.5	0.76276798	3.795451012
	0.800693	0.130596	1.262722	4.5996222	1.0783141	0.5	1.5	0.94618788	4.063705090
	0.899627	0.163940	1.405882	5.4875194	1.5348047	0.5	1.5	1.23301264	4.327114088
	1.300212	0.201715	1.679021	6.4457731	2.1176346	0.5	1.5	1.64036266	4.582168967
C	1.818306	0.243636	1.900212	7.4632028	2.8389090	0.5	1.5	2.18233307	4.827472931
	0.387187	0.101987	1.073811	3.7964035	0.7345912	0.5	1.5	0.76276798	3.795451012
	0.800693	0.130596	1.262722	4.5996222	1.0783141	0.5	1.5	0.94618788	4.063705090
	0.899627	0.163940	1.405882	5.4875194	1.5348047	0.5	1.5	1.23301264	4.327114088
	1.300212	0.201715	1.679021	6.4457731	2.1176346	0.5	1.5	1.64036266	4.582168967
D	1.818306	0.243636	1.900212	7.4632028	2.8389090	0.5	1.5	2.18233307	4.827472931
	0.387187	0.101987	1.073811	3.7964035	0.7345912	0.5	1.5	0.76276798	3.795451012
	0.800693	0.130596	1.262722	4.5996222	1.0783141	0.5	1.5	0.94618788	4.063705090
	0.899627	0.163940	1.405882	5.4875194	1.5348047	0.5	1.5	1.23301264	4.327114088
	1.300212	0.201715	1.679021	6.4457731	2.1176346	0.5	1.5	1.64036266	4.582168967
E	1.818306	0.243636	1.900212	7.4632028	2.8389090	0.5	1.5	2.18233307	4.827472931
	1	0.65	1.84	1.5384615	0.1206682	1.5	4	1.63063526	0.363557267
	4	1.42	1.94	2.8169014	0.4044308	1.5	4	2.48443088	0.663022446
	10	6.72	1.9	1.4880952	0.1120658	1.5	4	7.43238582	0.344682649
	4	1.42	1.84	2.8169014	0.4044308	1.5	4	2.48443088	0.663022446
F	4	1.42	1.84	2.8169014	0.4044308	1.5	4	2.48443088	0.663022446
	4	1.42	1.84	2.8169014	0.4044308	1.5	4	2.48443088	0.663022446
	4	1.42	1.84	2.8169014	0.4044308	1.5	4	2.48443088	0.663022446
	4	1.38	1.06	2.9411764	0.4409031	1.5	4	3.24090311	0.912001499
	4	1.306	1.228	2.8653095	0.4184563	1.5	4	3.08849539	0.828218346
G	4	1.43	1.96	2.7972027	0.3987942	1.5	4	2.46879428	0.654836665

Keterangan :

- m.a = muka air
- ling. bend = tinggi bendung
- kec. = kecepatan
- ling. amb = tinggi ambang
- ling. hulu - hilir

Catatan
 Pers. tinggi m a hulu (seri A,B,C,D) = $0.1740 Q(2) \sim 0.583$
 Pers tinggi muka air hilir (seri A,B,C,D) = $1.524 Q(2) \sim 0.369$

4.3 Bagan alir Perhitungan dan Penyelesaian



4.4 Kedalaman gerusan Persamaan Linier

Tabel 4.3
Persamaan Linier Kedalaman Gerusan

Seri	Rumus	Koefisien (X)	Konstanta (C)	Seri	Rumus	Koefisien (X)	Konstanta (C)
Seri A	Jagger	3.1419	0.01	Seri E	Jagger	2.2716	0.4791
	Schocklisth	1.2741	0.2358		Schocklisth	1.1366	0.2876
	Eggenberger	6.3552	-0.2197		Eggenberger	5.713	-1.0288
	Lacey	0.2166	-0.1089		Lacey	0.4582	-0.2209
	Breuser	5.8747	-2.1513		Breuser	0.4844	0.0086
seri B	Veronesse	0.188	-0.1073	Veronesse	0.8495	-0.5081	
	Jagger	3.0269	-0.1761	seri F	Jagger	-3	12.97
	Schocklisth	1.4155	0.0331		Schocklisth	-2	6.67
	Eggenberger	5.3385	-0.3462		Eggenberger	-7.5	28.73
	Lacey	0.0585	-0.0218		Lacey	-0.1333	0.2767
Breuser	3.7969	-1.0268	Breuser		-1	2.7	
seri C	Veronesse	0	0	Veronesse	-1	2.5	
	Jagger	3.0257	-0.1615	seri G	Jagger	0.0158	8.9065
	Schocklisth	1.4267	0.0254		Schocklisth	-0.0377	6.6484
	Eggenberger	5.3351	-0.3731		Eggenberger	-0.1232	23.3941
	Lacey	0.0483	-0.0205		Lacey	-0.0252	2.6761
Breuser	4.5279	-2.157	Breuser		-0.0679	4.3468	
seri D	Veronesse	0	0	Veronesse	-0.0316	4.017	
	Jagger	2.9812	-0.1037	Catatan :	Persamaan Linier = AX + C		
	Schocklisth	1.4329	0.0188		dimana X = Koefisien dan C = Konstanta		
	Eggenberger	5.2397	-0.2501		A pada Seri A, B, C, D, E adalah variabel Debit		
	Lacey	0.5074	-0.0917		A pada Seri F adalah variabel tinggi ambang		
Breuser	3.0429	-0.8127	A pada Seri G adalah variabel panjang Int bawah				
seri D	Veronesse	0	0				

Tabel 4.4
Persamaan Linier Gerusan Vs Bilangan Froude

Seri	Rumus	Koefisien (X)	Konstanta (C)
Seri A	Jagger	6.0195	-21.6222
	Schocklisth	2.5275	-8.9301
	Eggenberger	11.9796	-43.1196
	Lacey	0.3547	-1.3304
	Breuser	10.3246	-38.3874
	Veronesse	0.2943	-1.1054
seri C	Jagger	5.8062	-21.8532
	Schocklisth	6.598	-25.4442
	Eggenberger	7.7016	-28.3574
	Lacey	0.0543	-0.2122
	Breuser	5.5327	-21.322
	Veronesse	0	0
seri E	Jagger	-40.7763	35.8735
	Schocklisth	-20.3088	18.4539
	Eggenberger	-107.589	92.6259
	Lacey	-8.9386	7.4492
	Breuser	-8.9386	7.8792
	Veronesse	-16.5687	13.7335
seri G	Jagger	1.8853	10.8353
	Schocklisth	4.7707	1.8294
	Eggenberger	14.2293	8.6306
	Lacey	3.188	-0.5431
	Breuser	3.8534	-0.0968
	Veronesse	2.812	0.6931

Tabel 4.55
Kedalaman Gerusan Kasus Seri A setelah Dihilang dalam Perawatan Lintier

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Kedalaman Gerusan									
	kelompok Gradasi			Kelompok Debit			Hasil Penelitian			
	Jagger	Schocklistih	Eggenberger	Lacey	Breuser	Veronesse	Laboratorium	Laboratorium	Laboratorium	
0.24	0.764056	0.525484	1.305548	0.3477	-0.74137	-0.06218	0.566870363	0.566870363	0.566870363	
0.48	1.518112	0.831268	2.830796	0.5877	0.668556	-0.01706	0.8977914547	0.8977914547	0.8977914547	
0.9	2.83771	1.36639	5.49998	1.0077	3.13593	0.0619	1.3568749045	1.3568749045	1.3568749045	
1.82	5.728258	2.538562	11.346764	1.9277	8.540654	0.23486	2.1691747643	2.1691747643	2.1691747643	
4.24	13.33165	5.621884	26.726348	4.3477	22.75742	0.68982	3.8121203036	3.8121203036	3.8121203036	

Tabel 4.56
Kedalaman Gerusan Kasus Seri B setelah Dihilang dalam Perawatan Lintier

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Kedalaman Gerusan									
	kelompok Gradasi			Kelompok Debit			Hasil Penelitian			
	Jagger	Schocklistih	Eggenberger	Lacey	Breuser	Veronesse	Laboratorium	Laboratorium	Laboratorium	
0.24	0.550356	0.37282	0.93504	-0.00776	-0.13714	0	0.4858888825	0.4858888825	0.4858888825	
0.39	1.004391	0.585145	1.735815	0.001015	0.418891	0	0.6628802327	0.6628802327	0.6628802327	
0.6	1.64004	0.8824	2.8569	0.0133	1.19734	0	0.8882473345	0.8882473345	0.8882473345	
0.9	2.54811	1.30705	4.45845	0.03085	2.30941	0	1.1630356325	1.1630356325	1.1630356325	
1.82	5.332858	2.60931	9.36987	0.08467	5.719758	0	1.8592926551	1.8592926551	1.8592926551	

Tabel 4.7
Kedalaman Gerusan Kasus Seri C setelah Dihitung dalam Persamaan Linier

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Kedalaman Gerusan							
	kelompok Gradasi		kelompok Debit		Hasil Penelitian			
	Jagger	Schockli	Eggenberge	Lacey	Breuser	Veronesse	Laboratorium	
0.39	0.920056	0.492499	1.45806	-0.00696	-0.38859	0	0.8657215839	
0.6	1.57954	0.78736	2.6391	0.12718	0.56212	0	1.1605876448	
0.9	2.52166	1.20859	4.3263	0.31882	1.92028	0	1.518924536	
1.3	3.77782	1.77023	6.5759	0.57434	3.73116	0	1.9419152924	
1.82	5.410828	2.500362	9.50038	0.906516	6.085304	0	2.4282362075	

Tabel 4.8
Kedalaman Gerusan Kasus Seri D setelah Dihitung dalam Persamaan Linier

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Kedalaman Gerusan							
	kelompok Gradasi		kelompok Debit		Hasil Penelitian			
	Jagger	Schockli	Eggenberge	Lacey	Breuser	Veronesse	Laboratorium	
0.39	1.058968	0.540031	1.793383	0.106186	0.374031	0	1.0009491513	
0.6	1.68502	0.84094	2.89372	0.21274	1.01304	0	1.3418739232	
0.9	2.57938	1.27081	4.46563	0.36496	1.92591	0	1.756183805	
1.3	3.77186	1.84397	6.56151	0.56792	3.14307	0	2.2452466244	
1.82	5.322084	2.589078	9.286154	0.831768	4.725378	0	2.8075319092	

Tabel 4.9
Kedalaman Gerusan Kasus Seri E setelah Dihitung dalam Persamaan Linier

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Kedalaman Gerusan								Hasil Penelitian Laboratorium	
	kelompok Gradasi		kelompok Debit		Lacey		Veronesse			
	Jagger	Schockli	Eggenberge	Breuser	Veronesse	Lacey	Breuser	Veronesse		
1	2.7507	1.4242	4.6842	0.2373	0.493	0.8409	0.2373	0.493	0.8409	2.25 (c)
4	9.5655	4.834	21.8232	1.6119	1.9462	3.3894	1.6119	1.9462	3.3894	5.90 (c)
10	23.1951	11.6536	56.1012	4.3611	4.8526	8.4864	4.3611	4.8526	8.4864	8.25 (r)

Tabel 4.10
Kedalaman Gerusan Kasus Seri F setelah Dihitung dalam Persamaan Linier

Koef. amban (X) m	Kedalaman Gerusan								Hasil Penelitian Laboratorium	
	kelompok Gradasi		kelompok Debit		Lacey		Veronesse			
	Jagger	Schockli	Eggenberge	Breuser	Veronesse	Lacey	Breuser	Veronesse		
1.5	8.47	3.67	17.48	0.47665	1.2	1	0.47665	1.2	1	4.00 (c)
1.8	7.57	3.07	15.23	0.51664	0.9	0.7	0.51664	0.9	0.7	3.60 (c)
2.1	6.67	2.47	12.98	0.55663	0.6	0.4	0.55663	0.6	0.4	3.50 (c)

Tabel 4.11
 Kedalaman Gerusan Kasus Sari G setelah Dihitung dalam Perawatan Linter

Koef.it bwh (X) m	Kedalaman Gerusan										Hasil Penelitian	
	kelompok Gradasi			kelompok Debit			Laboratorium					
	Jagger	Schockli	Eggenberge	Lacey	Breuser	Veronesse	Lacey		Breuser		Veronesse	
11	9.0803	6.23398	22.0389	2.3989	3.5999	3.6694	7.6 (c)		6.25 (r)		3.60 (c)	
28	9.3489	5.59274	19.9445	1.9705	2.4456	3.1322	6.25 (r)		3.60 (c)		3.60 (c)	
42	9.5701	5.06466	18.2197	1.6177	1.495	2.6898	3.60 (c)		3.60 (c)		3.60 (c)	

Tabel 4.12
Interpretasi Kelompok Gradasi Kasus Seri A

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Jagger		Schocklith		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.24	34.78496	1.3478496	-7.30085	0.926991	130.3080	2.3030803	0.566870363
0.48	69.09405	1.6909405	-7.40967	0.925903	215.3066	3.1530663	0.897791454
0.9	109.1357	2.0913571	0.701250	1.007012	305.3417	4.0534171	1.356874904
1.82	164.0754	2.6407544	17.02892	1.170289	423.0912	5.2309127	2.169174764
4.24	249.7176	3.4971760	47.47393	1.474739	601.0887	7.0108878	3.812120303

Tabel 4.13
Interpretasi Kelompok Debit Kasus Seri A

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.24	-38.6632	0.6133677	-230.783	-1.30783	-110.968	-0.109689	0.566870363
0.48	-34.5393	0.6546063	-25.5332	0.744667	-101.900	-0.019002	0.897791454
0.9	-25.7337	0.7426624	131.1141	2.311141	-95.4380	0.0456195	1.356874904
1.82	-11.1321	0.8886789	293.7282	3.937282	-89.1728	0.1082715	2.169174764
4.24	14.04939	1.1404939	496.9755	5.969755	-81.9045	0.1809544	3.812120303

Contoh perhitungan Kasus Seri A
 Perbedaan Gerusan Jagger (dlm %) = ((Ked. gerusan Jagger - ger. penelitian)/(ger. penelitian) * 100 %
 = ((0.764 - 0.567)/0.567 * 100 %
 = 34.785

Faktor Gerusan Jagger
 = (Kedalaman gerusan jagger/kedalaman gerusan Penelitian)
 = 0.764/0.567
 = 1.348

Tabel 4.14
Interpretasi Kelompok Gradasi Kasus Seri B

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Jagger		Schockli		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.24	13.267872	1.132678	-23.2705	0.767294	92.43906	1.924390	0.485888882
0.39	51.519226	1.515192	-11.7268	0.882731	161.8595	2.618595	0.662880232
0.6	84.637762	1.846377	-0.65830	0.993416	221.6333	3.216333	0.888247334
0.9	119.09130	2.190913	12.38262	1.123826	283.3459	3.833459	1.163035632
1.82	186.82187	2.868218	40.33885	1.403388	403.9480	5.039480	1.859292655

Tabel 4.15
Interpretasi Kelompok Debit Kasus Seri B

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.24	-101.5970	-0.01597	-128.225	-0.28225	-100	0	0.485888882
0.39	-99.84688	0.001531	-36.8074	0.631925	-100	0	0.662880232
0.6	-98.50266	0.014973	34.79804	1.347980	-100	0	0.888247334
0.9	-97.34745	0.026525	98.56743	1.985674	-100	0	1.163035632
1.82	-95.44611	0.045538	207.6308	3.076308	-100	0	1.859292655

Tabel 4.16
Interprestasi Kelompok Gradasi Kasus Seri C

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Jagger		Schocklisth		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.39	6.276199	1.0627619	-43.1111	0.568888	68.42135	1.6842135	0.865721583
0.6	36.09829	1.3609829	-32.1585	0.678414	127.3934	2.2739342	1.160587644
0.9	66.01614	1.6601614	-20.4312	0.795687	184.8265	2.8482652	1.518924536
1.3	94.54092	1.9454092	-8.84102	0.911589	238.6296	3.3862960	1.941915292
1.82	122.8295	2.2282955	2.970295	1.029702	291.2461	3.9124612	2.428236207

Tabel 4.17
Interprestasi Kelompok Debit Kasus Seri C

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.39	-100.804	-0.008048	-144.886	-0.44886	-100	0	0.865721583
0.6	-89.0417	0.1095824	-51.5659	0.484340	-100	0	1.160587644
0.9	-79.0101	0.2098985	26.42366	1.264236	-100	0	1.518924536
1.3	-70.4240	0.2957595	92.13814	1.921381	-100	0	1.941915292
1.82	-62.6677	0.3733228	150.6059	2.506059	-100	0	2.428236207

Tabel 4.18
Interprestasi Kelompok Gradasi Kasus Seri D

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Jagger		Schocklisth		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.39	5.7963832	1.057963	-46.0481	0.539518	79.16824	1.791682	1.000949151
0.6	25.572154	1.255721	-37.3309	0.626690	115.6476	2.156476	1.341873923
0.9	46.874147	1.468741	-27.6379	0.723620	154.2803	2.542803	1.756183805
1.3	67.993126	1.679931	-17.8722	0.821277	192.2400	2.922400	2.245246624
1.82	89.564506	1.895645	-7.78099	0.922190	230.7586	3.307586	2.807531909

Tabel 4.19
Interprestasi Kelompok Debit Kasus Seri D

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
0.39	-62.63236	0.106085	-62.6323	0.373676	-100	0	1.000949151
0.6	-24.50557	0.158539	-24.5055	0.754944	-100	0	1.341873923
0.9	9.6644892	0.207814	9.664489	1.096644	-100	0	1.756183805
1.3	39.987739	0.252943	39.98773	1.399877	-100	0	2.245246624
1.82	68.310749	0.296263	68.31074	1.683107	-100	0	2.807531909

Tabel 4.22
Interprestasi Kelompok Gradasi Kasus Seri F

Ting. Amb m	Jagger		Schocklisth		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
1.5	111.75	2.1175	91.75	0.9175	337	4.37	4
1.8	110.27777	2.102777	85.27777	0.852777	323.0555	4.230555	3.6
2.1	90.571428	1.905714	70.57142	0.705714	270.8571	3.708571	3.5

Tabel 4.23
Interprestasi Kelompok Debit Kasus Seri F

Ting. Amb m	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
1.5	-88.08375	0.119162	-70	0.3	-75	0.25	4
1.8	-85.64888	0.143511	-75	0.25	-80.5555	0.194444	3.6
2.1	-84.09628	0.159037	-82.8571	0.171428	-88.5714	0.114285	3.5

Tabel 4.20
Interprestasi Kelompok Gradasi Kasus Seri E

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Jagger		Schocklisth		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
1	22.25333	1.2225333	-36.7022	0.632977	108.1866	2.0818666	2.25
4	62.12711	1.6212711	-18.0677	0.819322	269.8847	3.6988474	5.9
10	181.1527	2.8115272	41.25575	1.412557	580.0145	6.8001454	8.25

Tabel 4.21
Interprestasi Kelompok Debit Kasus Seri E

Koef. debit (X) m ³ /dt/m'	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
1	-89.4533	0.1054666	-78.0888	0.219111	-62.6266	0.3737333	2.25
4	-72.6796	0.2732033	-67.0135	0.329864	-42.5525	0.5744745	5.9
10	-47.1381	0.5286181	-41.1806	0.588193	2.865454	1.0286545	8.25

Interprestasi Kelompok Gradasi Kasus Seri C

Panjang Lantai Bawah m	Jagger		Schocklisth		Eggenberger		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
11	19.47763	1.1947763	-17.9739	0.820260	189.9855	2.8998552	7.6
28	49.5824	1.495824	-10.5161	0.894838	219.112	3.19112	6.25
42	165.8361	2.6583611	40.685	1.40685	406.1027	5.0610277	3.6

Tabel 4.25
Interprestasi Kelompok Debit Kasus Seri G

Panjang Lantai Bawah m	Lacey		Breuser		Veronesse		Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian (m)
	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	Perbedaan Gerusan (%)	Faktor Gerusan	
11	-68.4355	0.3156447	-52.6328	0.473671	-51.7184	0.4828157	7.6
28	-68.472	0.31528	-60.8704	0.391296	-49.8848	0.501152	6.25
42	-55.0638	0.4493611	-58.4722	0.415277	-25.2833	0.7471666	3.6

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Perbandingan Kedalaman Gerusan berdasarkan Rumus Empiris dan Percobaan Laboratorium yang ditinjau

Dari hasil perhitungan yang diperoleh baik dari grafik persamaan linier dan tabel kedalaman gerusan menunjukkan variasi kedalaman gerusan pada berbagai debit dan berbagai bentuk bendung. Secara umum rumus yang paling mendekati dengan hasil percobaan dilaboratorium adalah rumus Schocklisth.

5.1.a Rumus Jagger

Hasil menunjukkan bahwa kedalaman gerusan yang dihasilkan selalu lebih besar dari percobaan dilaboratorium, namun selisihnya tidak begitu besar. Rumus Jagger menunjukkan selisih yang relatif konstan pada sembarang debit. Apabila konstruksi bendung mempertimbangkan faktor keamanan kiranya kedalaman gerusan rumus ini dipertimbangkan untuk dapat digunakan.

5.1.b Rumus Schocklisth

Hasil menunjukkan bahwa kedalaman gerusan yang dihasilkan hampir selalu memberi hasil yang mendekati dengan hasil percobaan di laboratorium. Perubahan variabel debit dan bentuk bendung hampir tidak mempengaruhi perbedaan kedalaman gerusan antara rumus yang ditinjau dan percobaan di laboratorium.

5.1.c Rumus Eggenberger-Muller

Kedalaman gerusan pada rumus ini selalu memberi hasil jauh diatas hasil percobaan di laboratorium. Perlu kiranya kajian lebih lanjut penyebab ketidaksesuaian pemakaian rumus Eggenberger-Muller. Diduga penyebabnya adalah karena pemakaian konstanta Eggenberger-Muller yang tidak sesuai. Hal ini melihat bentuk pengaliran yang tidak sama dengan pengaliran seperti kasus yang yang tinjau.

5.1.d Rumus Lacey

Hasil menunjukkan ada perbedaan yang mendekati (kasus A) ada juga yang sangat kurang mendekati dari hasil percobaan di laboratorium (kasus F). Ketidaksesuaian rumus Lacey disebabkan pemakaian konstanta Lacey yang tidak tepat. Hal ini karena pada percobaan laboratorium model bendung hanya memakai skala kinematik, sedang skala geometrik dari bahan tergerus tidak dilakukan kalibrasi. Akibatnya sebagian besar perhitungan kedalaman gerusan selalu dibawah hasil penelitian laboratorium.

5.1.e Rumus Breuser

Hal yang menarik dari rumus ini adalah anggapan bahwa ada hubungan antara kedalaman gerusan dengan panjang kolam alakan terbukti (pada kasus G). Pemakaian lantai bawah yang lebih panjang akan mengurangi kedalaman gerusan itu sendiri. Anggapan bahwa kedalaman gerusan selalu kurang dari kedalaman air hulu tidak terbukti. Terutama untuk kasus bendung dengan debit besar dan bendung dengan tinggi

bendung yang relatif tinggi. Ada kemungkinan bahwa rumus dan anggapan dari Breuser cocok dipakai pada bangunan pemecah energi pada saluran primer.

5.1.f Rumus Veronesse

Rumus ini tidak memberi hasil yang memuaskan (pada kasus seri A, B, C dan D), sedang kasus seri E, F dan G hasil hampir mendekati dengan percobaan di laboratorium. Perbedaan bentuk bendung serta pola dan karakteristik aliran diduga menjadi penyebabnya.

5.2. Tinjauan Kedalaman Gerusan pada Gradasi Tidak Seragam

Setelah dihitung memakai rumus kelompok gradasi pada gradasi yang berlainan menunjukkan bahwa pemilihan material dengan diameter butir D_{90} yang relatif besar memberi hasil kedalaman gerusan yang relatif kecil (periksa lampiran 1.h, 1.i, 1.j, 2.h, 2.i, 2.j, 3.h, 3.i, 3.j).

Dari perbandingan kedalaman gerusan hasil percobaan laboratorium dengan variasi gradasi butiran ternyata hasil yang paling mendekati adalah pada $D_{90} = 15$ mm. Bahan dasar dengan ukuran demikian adalah merupakan komposisi material campuran pasir batu.

5.3 Tinjauan Kedalaman Gerusan pada Beberapa Bilangan Froude

Dari lampiran 2.k.1 sampai dengan 2.n.2, serta 3.k sampai dengan 3.n menunjukkan bahwa kenaikan bilangan Froude disertai dengan kenaikan kedalaman gerusan. Hal ini

sesuai dengan yang diteliti R. Jurisch yang menyatakan terjadinya kenaikan yang mencolok pada bilangan Froude 0 - 6, kemudian akan berangsur menurun ketika bilangan Froude diatas 6.

Dari beberapa rumus yang ditinjau apabila dihubungkan dengan bilangan Froude maka :

- a) pada bilangan Froude 3.53 - 5.51 maka rumus Schocklist paling sesuai dipakai,
- b) pada bilangan Froude 0.34 - 0.82 maka rumus Veronesse paling sesuai dipakai,

5.4 Usaha Perbaikan dari Bahaya Gerusan

Ancaman gerusan terhadap keamanan bendung dapat diantisipasi dengan melihat pola gerusan dan mencurigai tempat-tempat yang diperkirakan terjadi gerusan maksimum.

Dengan melihat lampiran 8.e sampai 8.h serta lampiran, serta lampiran 4.a sampai 4.c dapat disimpulkan bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada tengah sungai. Hal ini disebabkan kecepatan arus pada tengah sungai relatif lebih besar dibandingkan tepi sungai. faktor gesekan tebing tebing dengan air menyebabkan penurunan kecepatan air.

Adanya ambang pada lantai bawah bendung menyebabkan berubahnya pola aliran sekaligus merubah arah pusaran pada hulu sungai. Arah pusaran air yang berlawanan akan saling meniadakan gaya-gaya yang dapat menggerus material pada dasar sungai tersebut. Dengan demikian adanya ambang pada hulu sungai juga dapat dipakai sebagai alternatif untuk

mengurangi bahaya gerusan.

Dari lampiran 3.h sampai 3.j Gradasi D₉₀ dengan ukuran 3 - 4 mm dapat dipakai sebagai bahan dasar bagian hilir yang relatif aman terhadap bahaya gerusan yang mungkin terjadi. Guna pencegahan gerusan, bangunan konstruksi "rip-rap" pada sisi bawah bendung dapat dipertimbangkan untuk dibangun.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari tinjauan pustaka dan kajian hasil-hasil penelitian tentang kedalaman gerusan bagian hilir bendung akibat limpasan air diatas mercu bendung, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut ini :

- 1) Ada hubungan antara debit aliran dengan kedalaman gerusan (pada kelompok rumus debit). semakin besar debit maka semakin besar pula kedalaman gerusan,
- 2) Ada hubungan antara gradasi butiran dengan kedalaman gerusan (pada kelompok rumus gradasi), semakin besar gradasi butiran maka semakin kecil gerusan yang terjadi,
- 3) Untuk perhitungan kedalaman gerusan pada rumus kelompok gradasi, rumus Schocklisth adalah paling sesuai dipakai. Sedang pada rumus kelompok debit kurang memberi hasil yang memuaskan,
- 4) Pada bilangan Froude 0,34 - 0,82 rumus Veronesse mendekati hasil percobaan di laboratorium sedang pada bilangan Froude 3,53 - 5,51 rumus Schocklist adalah yang paling baik dipakai,
- 5) Usaha mengurangi gerusan dapat dipakai konstruksi bendung dengan ambang pada lantai bawah dan atau pemasangan "rip-rap"

6) Untuk penerapan rumus rumus empiris dan rumus dari percobaan dilaboratorium dilapangan perlu kiranya penelitian lebih lanjut.

6.2 SARAN

Penggunaan skala model kinematik dan skala model geometri pada model percobaan hidraulik perlu diperhatikan, sehingga bisa dibandingkan pada semua rumus yang ditinjau.

Guna mencari kedalaman gerusan sebenarnya kiranya tidak saja memperhitungkan gerusan akibat limpasan air diatas mercu bendung, tetapi juga memperhatikan gerusan yang disebabkan adanya rembesan air dibawah bendung, adanya proses degradasi serta faktor manusia (misal adanya penambangan pasir disekitar bendung).

PENUTUP

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, kami telah dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis telah mengupayakan secara maksimal untuk penerapan teori-teori tentang gerusan yang didapatkan dari bangku kuliah serta mengkaji dari literatur-literatur dan memakai program pembantu (komputer). Sehingga didapat hasil seperti dalam Tugas Akhir ini.

Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dosen Pembimbing I dan Bapak Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan menuntun kami dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Semoga beliau mendapat balasan dari Allah SWT sesuai amal baktinya.

Penulis menyadari Tugas akhir ini jauh dari sempurna, namun harapan kami semoga dapat memberi manfaat pada pembaca.