

**TUGAS AKHIR
(SKRIPSI)**

**ANALISIS TEGANGAN GESER DAN BILANGAN FROUDE
(Fr) TERHADAP PENURUNAN MATERIAL DASAR SUNGAI
PADA KAKI BENDUNG HANTAP CIHERANG**

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan Jenjang Program Strata 1 (S1)
Program Studi Teknik Sipil

Disusun Oleh :

Nama : Valensia Kristianti

NPM : 2112227027



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP
BANDUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS TEGANGAN GESER DAN BILANGAN FROUDE (Fr)
TERHADAP PENURUNAN MATERIAL DASAR SUNGAI PADA KAKI
BENDUNG HANTAP CIHERANG**

Diajukan sebagai salah satu syarat menyelesaikan Jenjang Program Strata 1 (S1)
Program Studi Teknik Sipil

Disusun Oleh :

Nama : Valensia Kristianti


NPM : 2112227027

Telah Diperiksa dan Disetujui,
Pembimbing


Chandra Afriade Siregar, ST., MT

NIP : 432.200.167

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhammad Syukri, ST., MT

NIP : 432.200.200

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Dengan ini penulis menyatakan bahwa dalam Tugas Akhir ini yang berjudul **“ANALISIS TEGANGAN GESER DAN BILANGAN FROUDE (Fr) TERHADAP PENURUNAN MATERIAL DASAR SUNGAI PADA KAKI BENDUNG HANTAP CIHERANG”** tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang dituliskan atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam Tugas Akhir ini sebagaimana disebutkan dalam Daftar Pustaka. Selain itu penulis menyatakan pula, bahwa Tugas Akhir ini dibuat oleh penulis sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka penulis bersedia dikenai sanksi/resiko sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandung, Juni 2023

Pembuat Pernyataan



Valensia Kristianti
2112227027

Halaman Hak Cipta Mahasiswa S1

**ANALISIS TEGANGAN GESER DAN BILANGAN FROUDE
(Fr) TERHADAP PENURUNAN MATERIAL DASAR SUNGAI
PADA KAKI BENDUNG HANTAP CIHERANG**

Oleh :

VALENSIA KRISTIATI
2112227028

Naskah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Universitas
Sangga Buana - YPKP

©Valensia Kristianti_ypkp_2023
Universitas Sangga Buana - YPKP
2023

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan
di cetak ulang, di foto kopi atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

ABSTRAK

Kerusakan pada kaki bendung terjadi karena penggerusan setempat (*local scouring*) terjadi akibat air loncat dan pusaran air (*Turbulensi*) di sekitar hilir bangunan peredam energi yang dapat mengakibatkan kerusakan konstruksi di kaki bendung. Hal ini dapat terjadi karena adanya kecepatan aliran, debit air yang jatuh melalui limpasan *spillway* dan dapat menimbulkan gerakan aliran turbulensi. Hal tersebut dapat mempengaruhi terjadinya pergerakan bahan dasar material penampang aliran di kaki bendung, yang berdampak pada penggerusan setempat pada kaki bendung.

Pada konstruksi bangunan air bagian hilir (ujung kaki bendung) di dasar sungai yang terkena pengaruh energi kinetik maupun energi potensial akan mempengaruhi terjadinya perubahan dasar sungai yang berdampak pada kerusakan di sepanjang bangunan bendung. Untuk itu diperlukan konstruksi pengaman bentuk tipe *rip-rap*, hal ini untuk mencegah hanyutnya material dasar bangunan bendung khususnya di kaki bendung.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan adanya pengaruh aliran turbulensi atau pusaran air terhadap endsill kaki bendung yang mengakibatkan penggerusan setempat dikaki bendung tersebut, dimana bisa terjadi kerusakan suatu bangunan pelimpah di bagian hilir bangunan bendung khususnya dikaki bendung.

Kata kunci : *local scouring*, *spillway*, turbulensi

ABSTRACT

Damage to the foot of the weir due to local scouring occurs due to the water jump and the turbulence in the vicinity of the building energy absorbers that can result in damage to construction at the foot of the weir. This can occur because of the flow velocity, flow of water that falls through the spillway and runoff can cause turbulent flow motion. It can affect the movement of the base material stream at the foot of the weir section, the impact on local scouring at the foot of the weir.

Construction of water on the downstream at the bottom of the river affected by the kinetic energy and potential energy will affect the river bed changes affecting building damage along the weir. This requires the construction of a safety type form rip-rap, this is to prevent runoff basic building material, especially at the foot of the weir dam.

Based on research that has been done can be concluded the effects of turbulence or vortex flow to the foot of the dam that resulted endsill local crushing at the foot of the dam, which can damage a building pelimpah downstream of dam building, especially at the foot of the weir.

Keywords: local scouring, spillway, turbulence

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, berkat Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang merupakan syarat untuk mencapai gelar Strata-1 (S1), dengan judul **“Analisis Tegangan Gesar Dan Bilangan Froude (Fr) Terhadap Penurunan Material Dasar sungai Pada Kaki Bendung Hantap Ciharang”** .

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, tapi bagaimanapun kita hanyalah manusia yang takkan luput dari kesalahan. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi penulis pada khususnya dan semua pihak yang berkepentingan dengan penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

Atas segala bantuan dan bimbingan yang diberikan, penulis mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat :

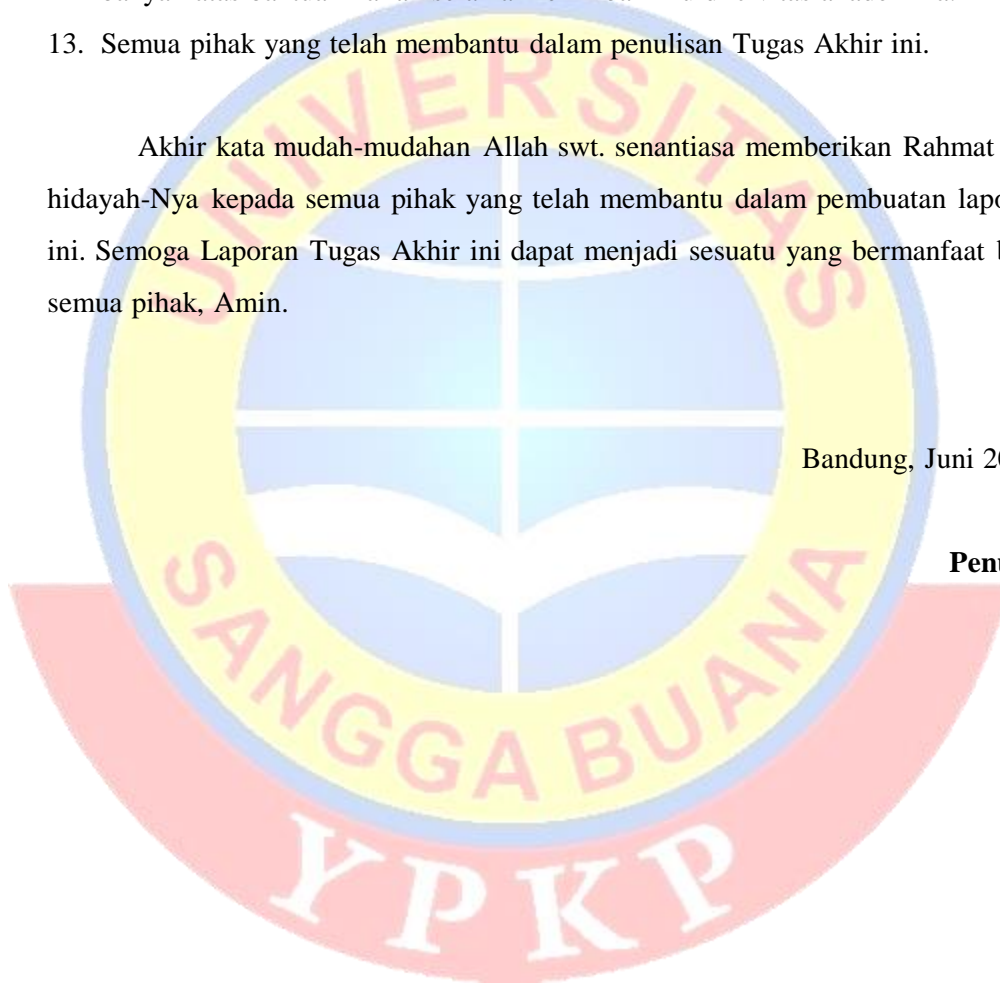
1. Dr.Didin Saepudin,SE.,M.Si, selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP
2. Dr.Teguh Nurhadi Suharsono,ST.,MT selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP
3. Bambang Susanto,SE.,M.Si selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP
4. Nurhaeni Sikki,S.AP.M.AP selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP
5. Slamet Risnanto,ST.,M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP
6. Dr.Djoko Pitoyo,ST.,M.Sc, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP
7. Muhammad Syukri, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP
8. Chandra Afriade Siregar,ST.,MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing saya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik .
9. Dosen-dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP

10. Staff administrasi program studi Teknik Sipil yang telah memberikan pelayanan dengan baik
11. Kedua orang tua saya, yang selalu memberi motivasi dan dukungan kepada penulis baik secara moril maupun materil.
12. Rekan-rekan teknik sipil kelas Reguler maupun kelas Karyawan, terimakasih banyak atas bantuan kalian selama menimba ilmu di civitas akademika.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata mudah-mudahan Allah swt. senantiasa memberikan Rahmat dan hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan laporan ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi sesuatu yang bermanfaat bagi semua pihak, Amin.

Bandung, Juni 2023

Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.7 Hipotesis Penulisan	3
1.8 Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Bentuk Bendung Pelimpah	5
2.2 Mercu Bendung	5
2.2.1 Bentuk Mercu Bendung	5
2.2.2 Tinggi Mercu Bendung	6
2.2.3 Panjang Mercu bendung.....	7
2.2.4 Tinggi Muka Air di Atas Mecu Bendung	8
2.3 Bangunan Penahan Batu (Boulder Screen)	9
2.4 Peredam Energi.....	9
2.4.1 Tipe Peredam Energi Lantai Hilir Mendatar	10
2.4.2 Peredam Tipe Kotak-kotak.....	11
2.4.3 Peredam Tipe Vlughter	11

2.5	Aggradasi.....	12
2.6	Degradasi.....	14
2.7	Mekanisme Penggerusan	14
	2.7.1 Proses Penggerusan Setempat	15
2.8	Kedalaman Lokal Scouring	16
2.9	Prinsip-Prinsip Energi Dan Momentum	19
	2.9.1 Energi Dan Aliran Saluran Terbuka	19
	2.9.2 Energi Spesifik	21
	2.9.3 Tolak Ukur Aliran Dalam Keadaan Kritis	22
	2.9.4 Momentum Dalam Aliran Saluran Terbuka	23
	2.9.5 Gaya Spesifik.....	24
	2.9.6 Aliran Melalui Kaki Pelimpah.....	25
2.10	Aliran Kritis Perhitungan Dan Pemakainya.....	26
	2.10.1 Aliran Kritis	26
	2.10.2 Faktor Penampang Untuk Perhitungan Aliran Kritis	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Persiapan Penelitian	29
	3.1.1 Umum.....	29
	3.1.2 Penggunaan Alat dan Bahan.....	29
3.2	Pelaksanaan Penelitian	31
3.3	Pengamatan Pola Aliran	32
3.4	Pengumpulan Data	32
3.5	Analisa Data	32
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Analisa Data	36
	4.1.1 Data Pengamatan	36
	4.1.2 Analisa Perhitungan Debit Aliran	37
	4.1.3 Analisa Perhitungan Kecepatan Aliran.....	37
	4.1.4 Analisa Bilangan Froude.....	38

4.1.5	Perhitungan Energi	38
4.1.6	Analisa Gerusan Setempat	40
4.1.7	Analisa dan Pengolahan Data Penelitian	40
4.2	Pembahasan Analisa Data	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	52
DAFTAR PUSTAKA		54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bentuk Mercu Ogee	6
Gambar 2.2 Pengaturan Tinggi Mercu Bendung	7
Gambar 2.3 Tinggi Muka Air diatas Mercu Bendung.....	9
Gambar 2.4 Bendung Tajum-Jawa Tengah	11
Gambar 2.5 Elevasi Rencana	13
Gambar 2.6 Pemasangan batu kosong dan pasangan batu untuk menghindari gerusan.....	15
Gambar 2.7 Lokal Scouring dan degradasi.....	15
Gambar 2.8 Bentuk Pemasangan Rip-Rap	16
Gambar 2.9 Overspill	16
Gambar 2.10 Under	17
Gambar 2.11 Cut-Off	17
Gambar 2.12 Energi dalam aliran saluran terbuka berubah beraturan	20
Gambar 2.13 Lengkungan Energi Spesifik.....	22
Gambar 2.14 Penafsiran loncatan hidrolis berdasarkan lengkung-lengkung energi dan gaya spesifik	23
Gambar 2.15 Penerapan dalil Momentum	24
Gambar 2.16 Lengkung Spesifik Dengan Lengkung Energi Spesifik.	25
Gambar 3.1 Penampang Memanjang Model Saluran Terbuka	29
Gambar 3.2 Penampang melintang Model Saluran Terbuka	30
Gambar 3.3 Bagan Alir Metodologi Penelitian	33
Gambar 4.1 Penampang Memanjang dan Melintang Saluran	37
Gambar 4.2 Tegangan Geser Dengan (τ) Bilangan Froude (F_1)	40
Gambar 4.3 Tegangan Geser (τ) Dengan Debit Aliran (Q).....	41
Gambar 4.4 Debit Aliran (Q) Dengan Bilangan Froude (F_1).....	41
Gambar 4.5 Tegangan Geser (τ) per gerusan dengan ΔE per debit persatuan lebar.....	42
Gambar 4.6 Kecepatan (V) dengan tegangan geser (τ).....	43
Gambar 4.7 Hubungan gerusan (ds) per tinggi loncatan (ΔH) dengan froude	44

Gambar 4.8 Debit Aliran (Q) dengan Kedalaman Gerusan (ds)..... 45
Gambar 4.9 Kedalaman gerusan (ds) dengan Froude (F_1)..... 45
Gambar 4.10 Kecepatan aliran (V) dengan faktor aliran ($ds_1/\Delta H$) 46
Gambar 4.11 Energi Kinetik per Energi Potensial (E_k/E_p) dengan bilangan froude
(F) 47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam perencanaan perbaikan dan pengaturan sungai yang diutamakan adalah sistem pengaliran kelebihan air dari hulu ke hilir pada sungai secara aman, hal ini dapat mencegah limpasan yang dapat menyebabkan terjadinya bencana banjir. Berbagai macam kerusakan pada tubuh bendung pada umumnya antara lain ialah rusaknya permukaan bendung akibat erosi, lereng depan bendung tergerus oleh arus air pada waktu banjir, longsor kaki bendung dan penurunan mercu bendung.

Degradasi atau penurunan dasar sungai terjadi apabila jumlah sedimen yang masuk ke suatu ruas sungai lebih kecil dari jumlah sedimen yang keluar. Dengan terjadinya degradasi dasar sungai dapat menyebabkan terjadinya penurunan elevasi dasar dan permukaan air sungai, yang dapat merubah kemiringan dasar sungai menjadi landai sampai dicapai suatu keseimbangan baru.

Pada hakikatnya terjadinya kerusakan-kerusakan tubuh bendung mempengaruhi stabilitas bendung dan merupakan permulaan proses yang selanjutnya dapat menyebabkan bobolnya bendung tersebut. faktor pengaruh yang terjadi pada aliran sungai yang di lalui oleh air dengan debit sungai yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi tegangan geser dan bilangan froude (F_r) terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung dan sebagai stabilitas tanggul pengendalian banjir melalui penelitian dengan uji model hidrolis.

Mengingat stabilitas bendung adalah salah satu persyaratan utama dalam pembangunan suatu bendung maka penulis akan mencoba untuk melakukan kajian yang berkaitan dengan judul **“Analisis Tegangan Geser Dan Bilangan Froude (F_r) Terhadap Penurunan Material Dasar Sungai Pada Kaki Bendung Hantap Ciharang”**.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini ialah bagaimana pengaruh debit aliran normal dan aliran limpasan permukaan terhadap stabilitas tanggul pengendalian limpasan air dan kerusakan kajian pengamatan tegangan geser dan bilangan froude (F_r) terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung hantap ciherang.

1.3. Batasan Masalah

Pada pelaksanaan penelitian ini bagian yang diteliti adalah model saluran sungai yang terbuat dari campuran beton dengan dasar saluran hamparan pasir yang dipadatkan. Kemudian diamati perubahan kecepatan debit dan gerusan yang terjadi pada saluran tersebut.

1.4. Maksud Dan Tujuan

Maksud dan tujuan ini adalah untuk mengamati, mempelajari dan menganalisis faktor pengaruh yang terjadi pada aliran sungai yang di lalui oleh air dengan debit sungai yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi tegangan geser dan bilangan froude (F_r) terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung dan sebagai stabilitas tanggul pengendalian banjir melalui dengan uji model.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui faktor-faktor apa saja penyebab penurunan material dasar sungai pada kaki bendung.
2. Mengetahui pengaruh perubahan ketinggian air terjadi pada daerah aliran sungai yang disebabkan debit yang berbeda-beda.
3. Mengetahui pengaruh gerusan setempat pada lereng bangunan pelimpah akibat kecepatan aliran air atau jatuhnya air dari bangunan spillway.
4. Mengkaji seberapa jauh terjadinya penrunan material dasar sungai pada kaki bendung.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memperpanjang umur efektif dari tubuh bendungan.
2. Melakukan pencegahan bobolnya bendungan akibat aliran air dengan debit yang berbeda.
3. Sebagai kontribusi untuk pelaksanaan dilapangan dalam penataan sistem pengairan irigasi khususnya yang berkaitan dengan ketahanan tubuh bendungan.
4. Dapat mengetahui faktor penyebab kerusakan kaki bendung.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis melakukan penelitian terhadap

1. Kajian pengamatan tegangan geser dan bilangan froude (fr) terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung dengan uji hidroulik.
2. Mengamati penurunan material dasar sungai.
3. pengaruh debit air, tinggi permukaan air dan kecepatan aliran permukaan yang berbeda terhadap bendung sungai.
4. Energi yang bekerja pada bendung sungai.
5. Kontribusi tegangan geser dan bilangan froude (Fr) terhadap penurunan material di dasar sungai.

1.7. Hipotesis

Penelitian ini merupakan kajian terhadap kajian pengamatan tegangan geser dan bilangan froude (fr) terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung, dimana beberapa faktor yang mempengaruhi terhadap stabilitas ketahanan kaki bendung. Semakin besar debit air yang mengalir maka semakin besar pula tegangan geser, dan bilangan froude (Fr) yang terjadi pada saluran.

1.8. Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini terdiri dari lima Bab dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini dijelaskan latar belakang masalah, identifikasi masalah, ruang lingkup penelitian, maksud penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Dalam bab ini menguraikan pembahasan teori dan hipotesis.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Dalam bab ini menjelaskan secara ringkas mengenai persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian, dan evaluasi penelitian.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan data hasil penelitian, uji hipotesis dan pengolahan data.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab penutup yang berisikan kesimpulan hasil penelitian di laboratorium dan saran-saran yang diharapkan bermanfaat dan sesuai dengan tujuan penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bentuk Bendung Pelimpah

Bendung pengendalian air sebagai pelimpah aliran sungai dengan bentuk bendung harus kuat dan stabil. Untuk itu bentuk tubuh bendung bagian udiknya dapat dibuat tegak atau miring, sedangkan bagian hilirnya dengan kemiringan. Arah penempatan pelimpah bendung umumnya tegak lurus terhadap aliran sungai. Selain bentuk lurus pelimpah bendung dapat pula berbentuk gergaji, lengkung, bentuk U, <, dan sebagainya seperti uraian berikut :

- a. **Pelimpah Lurus** umumnya banyak digunakan untuk bendung tetap. Dibangun melintang di palung sungai dan tegak lurus antara tembok pangkal dan pilar pembilas bendung. Mengarah tegak lurus terhadap aliran utama sungai. Aliran sungai yang keluar dari bendung kehilir akan merata dan tidak terkonsentrasi pada satu bagian, sehingga penggerusan setempat di hilir bendung tidak terpusat pada suatu tempat.
- b. **Pelimpah Lengkung** ialah alternatif lain dari bentuk lurus. Bentuk ini tidak banyak dijumpai dan dibangun sebelum tahun 1970-an. Dijumpai antara lain pada bendung-bendung Bogor, Cianjur, Cisokan, Tasikmalaya, Cibodas, Cumulu. Lengkungan pelimpah berbentuk cembung mengarah ke udik. Jarak lengkungan biasanya sekitar 1/10 s.d 1/20 dari lebar bentang.

2.2 *Mercu Bendung*

Mercu bendung adalah bagian teratas tubuh bendung dimana aliran dari udik dapat melimpah ke hilir. Fungsinya sebagai penentu tinggi muka air minimum di sungai bagian udik bendung, sebagai pengempang sungai dan sebagai pelimpah aliran sungai. Letak *mercu* bendung dan tubuh bendung diusahakan tegak lurus dengan arah aliran sungai agar aliran yang menuju bendung terbagi merata.

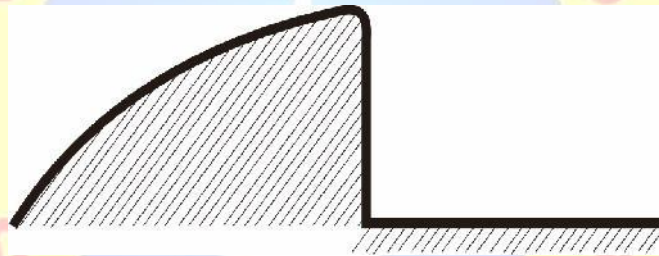
2.2.1 *Bentuk Mercu Bendung*

Bentuk *mercu* bendung yang lazim digunakan di Indonesia yaitu bentuk *mercu* bulat, hal ini dikarenakan :

- bentuknya sederhana sehingga mudah dalam pelaksanaannya.
- mempunyai bentuk mercu yang besar, sehingga lebih tahan terhadap benturan batu gelundung, bongkah dan lain sebagainya.
- bisa tahan terhadap goresan atau abrasi, karena *mercu* bendung diperkuat oleh pasangan batu candi atau beton.
- pengaruh *kavitasi* hampir tidak ada atau tidak begitu besar asalkan radius mercu bendung memenuhi syarat minimum yaitu $0.7 h < R < h$.

Bentuk mercu bendung tetap, yaitu :

- *mercu* bulat dengan satu jari-jari pembulatan.
- *mercu* bulat dengan dua jari-jari pembulatan.
- *mercu* tipe *Ogee*, *SAF*, dan
- *mercu* ambang lebar.



Gambar 2.1 : Bentuk Mercu Ogee

(Sumber : Desain Hidraulik Bendung Tetap, Erman. 2006)

2.2.2 Tinggi Mercu Bendung

Tinggi *mercu* bendung, p , yaitu ketinggian antara elevasi lantai udik/dasar sungai di udik bendung dan elevasi *mercu*. Dalam penentuan ketinggian *mercu* bendung ini, belum ada rumus atau ketentuan yang pasti. Hanya berdasarkan pengalaman dengan pertimbangan stabilitas bendung.

Dalam menentukan tinggi *mercu* bendung maka harus dipertimbangkan terhadap :

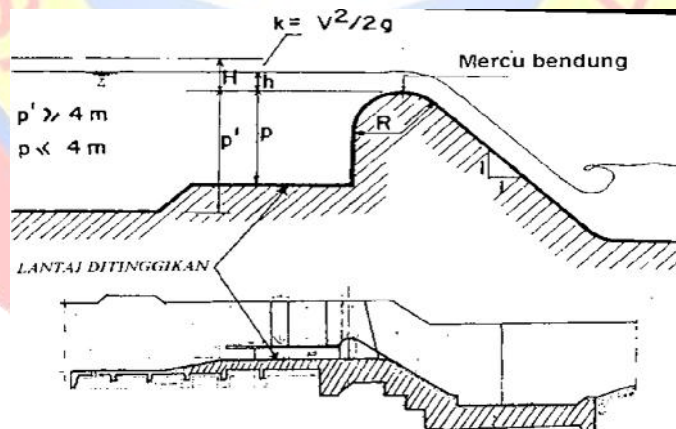
- Kebutuhan penyadapan untuk memperoleh debit dan tinggi tekan.
- Kebutuhan tinggi energi untuk pembilasan.
- Tinggi muka air genangan yang akan terjadi.
- Kesempurnaan aliran pada bendung.
- Kebutuhan pengendalian angkutan sedimen yang terjadi di bendung.

Tinggi *mercu* bendung, p , dianjurkan tidak lebih dari 4.00 meter dan minimum 0.5 H . Jika, p , lebih tinggi dari 4.00 meter yang biasa terjadi untuk bendung-bendung dengan lokasi di sudetan maka elevasi dasar lantai udik dapat diletakkan lebih tinggi dari dasar sungai.

Dalam perhitungan tinggi muka air di atas *mercu* bendung yang menggunakan rumus *Bundschu* dan *Verwoerd*, maka harga-harga tinggi *mercu*, p , dan jari-jari *mercu*, R , harus ditetapkan terlebih dahulu. Karena hal itu akan saling terkait. Perhatikan rumus berikut :

$$m = 1.49 - 0.018 \left(5 - \frac{h}{R} \right)^2 \longrightarrow k = \frac{4}{27} \times m^2 \times h^3 \times \left(\frac{1}{h+p} \right)^2$$

- dimana :
- k = tinggi kecepatan aliran
 - h = tinggi muka air di udik bendung
 - m = koefisien pengaliran bendung
 - p = tinggi *mercu* bendung ke dasar sungai
 - R = jari-jari pembulatan *mercu* bendung



Gambar 2.2 Pengaturan Tinggi *Mercu* Bendung

(sumber : *Desain Hidraulik Bangunan Irigasi*, Erman, 2007)

2.2.3 Panjang *Mercu* Bendung

Panjang *mercu* bendung atau disebut pula lebar bentang bendung, yaitu jarak antara dua tembok pangkal bendung (*abutment*), termasuk lebar bangunan pembilas dan pilar-pilarnya. Disebut panjang *mercu bruto*.



Dalam penentuan *mercu* bendung, maka harus diperhitungkan terhadap :

- Kemampuan melewati debit desain dengan tinggi jagaan yang cukup.
- Batasan tinggi air genangan maksimum yang diijinkan pada debit desain.

Berkaitan dengan itu panjang *mercu* dapat diperkirakan :

- Sama lebar dengan lebar rata-rata sungai stabil atau pada debit penuh alur (*bank full discharge*)
- Umumnya diambil sebesar 1.2 kali lebar sungai rata-rata, pada ruas sungai yang telah stabil.

Pengambilan panjang *mercu* bendung tidak boleh terlalu pendek dan tidak pula terlalu lebar. Bila desain panjang *mercu* bendung terlalu pendek akan memberikan tinggi muka air di atas *mercu* lebih tinggi, akibatnya tanggul banjir di udik akan bertambah tinggi pula. Demikian pula genangan banjir akan bertambah luas. Sebaliknya bila terlalu lebar dapat mengakibatkan profil sungai bertambah lebar pula sehingga akan terjadi pengendapan sedimen di udik bendung yang dapat menimbulkan gangguan penyadapan aliran ke *intake*.

2.2.4 Tinggi Muka Air di Atas *Mercu* Bendung

Tinggi muka air di atas *mercu* bendung dapat dihitung dengan persamaan tinggi energi-debit, untuk ambang bulat dan pengontrol segi empat yaitu :

$$Q_d = C_d \cdot 2/3 \cdot \sqrt{2/3 \cdot g \cdot b \cdot H^{3/2}}$$

dimana :

Q_d = debit desain, m³/det

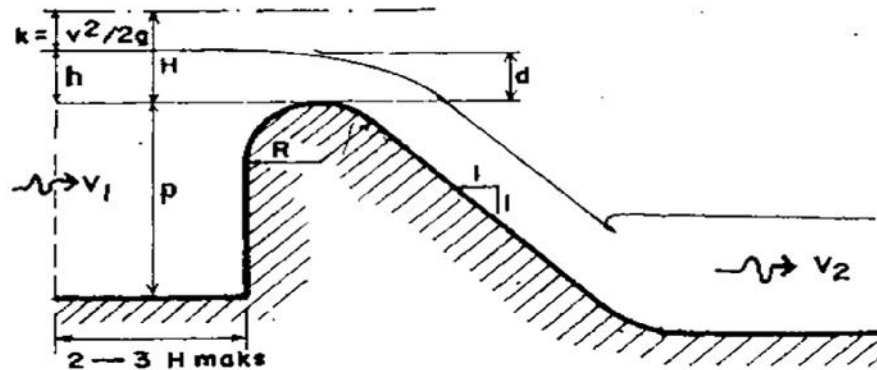
C_d = koefisien debit

$C_d = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2$

g = percepatan gravitasi

b = panjang *mercu* efektif (m)

H = tinggi energi di atas *mercu* (m)



Gambar 2.3 Tinggi Muka Air di Atas *Mercu Bendung*

(sumber : *Desain Hidraulik bendung Tetap, Erman, 2006*)

2.3 Bangunan Penahan Batu (*Boulder Screen*)

Bangunan penahan batu adalah suatu bangunan yang ditempatkan di udik bangunan pembilas bendung. Terdiri dari barisan tiang-tiang dan berfungsi sebagai alat untuk mencegah batu-batu dengan diameter tertentu yang menuju ke intake dan untuk menyimpangkan batu-batu dengan diameter tertentu ke arah bendung. Serta untuk menghindarkan kayu, sampah dan benda padat lainnya tidak masuk ke *undersluice/intake*.

Bangunan penahan batu terdiri atas :

- Baris cerucuk pipa bulat dipasang vertikal
- Balok beton dipasang sebagai pengikat horizontal
- *Fundasi* bangunan

Tipe penahan batu di buat dengan bentuk pagar yang terdiri dari batang tegak dan bagian atasnya diikat dengan balok pengikat. Batang pengikat dibagian tengah tidak dianjurkan

2.4 Peredam Energi

Peredam energi bendung adalah struktur dari bangunan di hilir tubuh bendung yang terdiri dari berbagai tipe, bentuk dan di kanan kirinya di batasi oleh tembok pangkal bendung dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu.

Fungsi bangunan yaitu untuk meredam energi air akibat pembendungan agar air di hilir bendung tidak menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan struktur.

Dalam mendesainnya harus diperhitungkan terhadap energi potensial, kinetik dan terhadap kemungkinan terjadinya proses perubahan *morfologi* sungai, antara lain proses degradasi dasar sungai di hilir bendung. Selain itu juga harus diperhitungkan terhadap debit desain, tinggi terjunan, penggerusan setempat, *degradasi* dasar sungai, benturan dan *abrasi* sedimen serta benda padat lainnya.

2.4.1 Tipe Peredam Energi Lantai Hilir Mendatar

Bangunan peredam energi tipe ini dikenal dengan istilah tipe *Vlughter*, tipe MDO dan MDS. tipe ini dipilih untuk peredam energi bendung yang berlokasi di sungai-sungai dengan angkutan sedimen dominan *fraksikerikil* dan pasir.

Bangunan peredam energi bendung tipe lantai hilir datar dengan ambang akhir adalah bagian di hilir bendung yang merupakan kolam olak terdiri atas lantai hilir mendatar, tanpa lengkungan pada transisi antara bidang hilir tubuh bendung dan lantai horizontal. Dan dibagian ujung lantai dilengkapi dengan ambang akhir berkotak-kotak. Dibatasi oleh tembok pangkal bentuk tegak di bagian kiri kananya.

Fungsinya untuk meredam energi air agar tidak menimbulkan penggerusan setempat yang membahayakan bangunan bagian hilir. Pada tipe ini pemecahan energi air ditimbulkan terutama oleh gesekan air dengan air, lantai dan dinding bangunan. Aliran yang keluar ke sungai dari bangunan diratakan oleh ambang akhir yang berkotak-kotak.

Bentuk hidraulik bangunan tersebut adalah :

- *Mercu* bendung bertipe bulat
- Tubuh bendung bagian hilir tegak sampai dengan kemiringan 1 : 1
- Tanpa lengkungan di pertemuan kaki bendung dan lantai
- Lantai hilir berbentuk datar tanpa kemiringan
- Berambang akhir bentuk kotak-kotak di bagian akhir lantai hilir
- Harus dilengkapi dengan tembok sayap hilir bentuk miring dan ujungnya dimasukkan ke dalam tebing

- Terdiri atas 2 bentuk yaitu lantai datar tanpa olakan (mdo) dan dengan olakan (mds)
- Untuk menambah keamanan tepat di hilir ambang akhir dan di kaki tembok sayap dipasang *rip-rap* dari batu berdiameter antara 0.30 – 0.40m

Persyaratan yang berkaitan dengan batasan pemakaian yaitu :

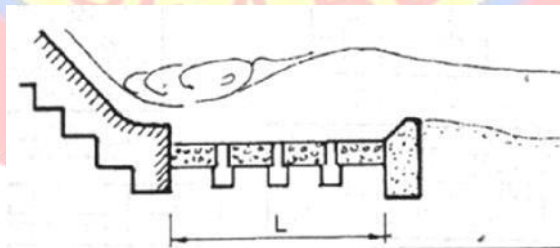
- Tinggi air di atas *mercu* bendung maksimum 4 meter
- Tinggi bendung dari dasar sungai bagian hilir di bawah 10 m
- Bila tinggi melampaui keadaan diatas maka perlu dilakukan pemeriksaan dengan uji model fisik

2.4.2 Peredam Tipe Kotak-kotak

Tipe lain dari bangunan peredam energi yang telah diterapkan pada bendung yaitu tipe kotak-kotak. Peredam energi ini digunakan sebagai tambahan peredam energi di hilir peredam energi yang telah ada sebelumnya dan sudah tidak efektif bekerja karena berbagai sebab antara lain penggerusan setempat yang dalam, dan terjadinya degradasi dasar sungai.

Maksud pembuatan tipe ini yaitu untuk mengurangi tekanan air ke atas pada bagian peredam energi lama, sehingga kerusakan bangunan dapat dicegah.

Bentuk bangunan dibuat kotak-kotak, permeable / lulus air yang terdiri dari balok-balok beton yang bersilang memanjang – melintang. Kotak-kotak tersebut diisi dengan batu lepas dengan diameter sekitar 0.30 meter.



Gambar 2.4 Bendung Tajum-Jawa Tengah

(sumber : Seksi hidrolika umum,PDMA)

2.4.3 Peredam Tipe *Vlughter*

Dipakai pada tanah *aluifial* dengan aliran sungai tidak membawa batuan yang besar, bentuk hidraulik tipe *Vlughter* di pengaruhi oleh tinggi energi di

hulu (H_e) dan tinggi muka air banjir di hilir (z) atau sebagai batasan kasar tipe ini digunakan jika $D \leq 8m$ dan $z \leq 4.50 m$.

Perhitungan hidrolisnya adalah sebagai berikut :

➤ $\frac{1}{3} \leq \frac{z}{H} \leq \frac{4}{3}$ dimana $D = L = R = 0,6 H + 1,4z$

$$a = 0.20 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{H}{z}}$$

➤ $\frac{4}{3} \leq \frac{z}{H} \leq 10$ dimana $D = L = R = H + 1,1z$

$$a = 0.15 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{H}{z}}$$

dimana :

D = kedalaman lantai kolam olakan terhadap mercu bendung

L = panjang lantai olak

R = jari-jari lantai olak

z = selisih tinggi energi air di hulu mercu dengan hilir mercu

H = tinggi air di atas mercu ditambah tinggi energi di atas mercu ($k + h$)

a = tinggi energi *disipator* di ujung lantai olak

2.5 Aggradasi

Aggradasi atau kenaikan dasar sungai terjadi apabila jumlah sedimen yang masuk ke suatu ruas sungai lebih besar dari jumlah sedimen yang keluar, dan dapat disebabkan oleh:

- Gejala alamiah yang biasa terjadi pada sungai bagian tengah dan hilir dengan bahan endapan.
- Sedimen yang dihasilkan dari sungai bagian hulu dan anak-anak sungainya.
- Perubahan kemiringan dasar sungai dari curam ke landai.
- Dibangunnya bendung / bendungan di bagian hilirnya.
- Pembuangan material padat ke badan sungai.

Sebagai contoh untuk proses *aggradasi* ialah :

- Proses aggradasi di hulu suatu bendung atau bendungan.

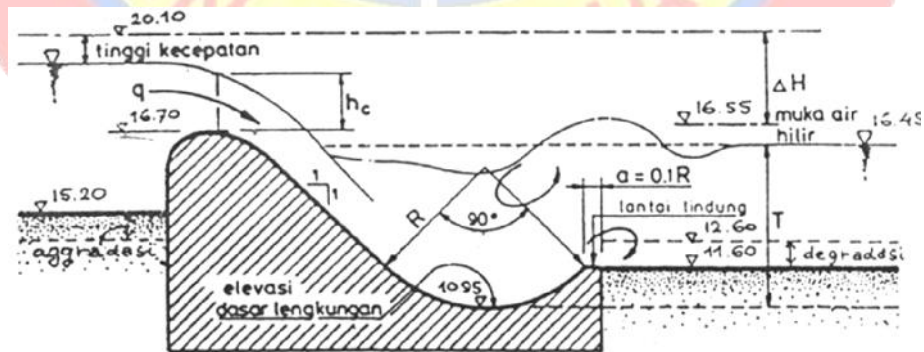


- Proses *aggradasi* dipertemuan anak sungai (yang membawa sedimen) dengan sungai induk.
- Proses *aggradasi* di muara sungai (*delta*).
- Proses di hulu bangunan-bangunan pengatur sungai (*check dam, sub dam*).

Untuk mengetahui laju pengendapan sedimen, perlu adanya pengontrolan elevasi dasar sungai secara periodik, apabila batas limit telah tercapai dapat segera diadakan tindakan. *Aggradasi* dasar sungai dapat menimbulkan masalah antara lain; berkurangnya kapasitas pengaliran alur sehingga masalah banjir meningkat, berkurangnya kapasitas bangunan-bangunan silang/jembatan sehingga diperlukan peninggian, terganggunya bangunan pengambilan dan sebagainya. Masalah *aggradasi* dapat ditanggulangi dengan :

- Penggerukan.
- Pembuatan sudetan.
- Penambahan kapasitas alur dengan normalisasi sungai.
- Peninggian gelagarjembatan atau penambahan bukaan bentang.

Pada umumnya masalah *aggradasi* lebih sulit diatasi daripada masalah *degradasi*, dan pada umumnya harus dilakukan dengan menangani langsung sumber masalahnya yang biasanya berupa erosi dari DAS.



Gambar 2.5 Elevasi rencana

(Sumber : Petunjuk Perencanaan Irigasi PU,1986)

2.6 Degradasi

Degradasi atau penurunan dasar sungai terjadi apabila jumlah sedimen yang masuk ke suatu ruas sungai lebih kecil dari jumlah sedimen yang keluar dan dapat disebabkan oleh:

- Gejala alamiah yang bias terjadi pada ruas sungai bagian hulu.
- Tertahannya bahan sedimen di daerah hulu karena dibangunnya suatu bendungan / bendungan di bagian udiknya.
- Terjadinya gerusan setempat di hilir bangunan.
- Adanya perubahan kemiringan memanjang sungai dari landai curam (ujung hulu sudetan)

Dengan terjadinya degradasi dasar sungai dapat menyebabkan terjadinya penurunan elevasi dasar dan permukaan air sungai, yang dapat merubah kemiringan dasar sungai menjadi landai sampai dicapai suatu keseimbangan baru. Peristiwa *degradasi* bisa terjadi di hilir bendung, bendungan atau bangunan pengatur sungai. Masalah *degradasi* dapat ditanggulangi dengan :

- Perlindungan dasar sungai dengan *rip-rap* batu.
- Pemasangan dinding pancang (*sheet pile*) pada koperan/kaki tembok pangkal.
- Pembuatan ruang olakan tambahan dan bronjong atau lantai datar.
- Membuat bangunan pengendali dasar sungai (*ground sill, check dam*) atau bendungan (*weir*). Bangunan ini pada umumnya dibangun secara seri dengan jarak dan ketinggian bangunan yang ditetapkan dengan optimasi.

Masalah lain yang sering dijumpai pada dasar sungai adalah terdapatnya ambang alam yang keras yang sulit tergerus oleh aliran. Ambang alam ini dapat menimbulkan pembendungan terhadap aliran sungai sehingga menimbulkan banjir di hulunya. Dengan demikian perlu membongkarnya antara lain dengan penggerukan/penggalian atau dengan peledakan. Setain dapat menimbulkan banjir, ambang alam dapat menimbulkan terjadinya sungai berliku di sebelah hulunya.

2.7 Mekanisme Penggerusan

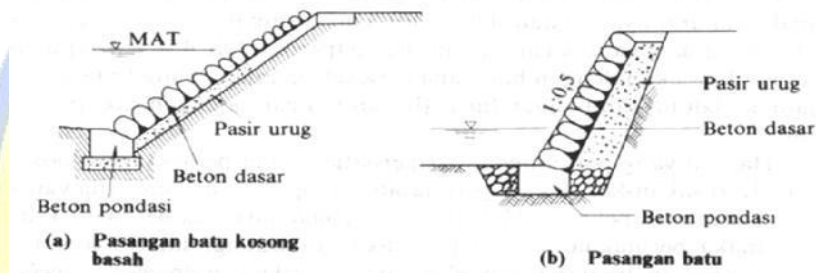
Terjadinya penggerusan setempat (*Local Scouring*) sebagai akibat adanya pu- saran air (*turbulensi*), karena aliran air mendapat gangguan berupa perubahan

pada penampang aliran, baik itu penyempitan arah samping maupun peninggian dan penurunan dalam arah mendatar maka akan terjadi energi yang menyebabkan penggerusan bahan dasar material pada penampang tersebut.

Perubahan penampang aliran dapat terjadi karena :

- Alam, cuaca dan temperatur.
- Manusia dengan maksud pemanfaatannya.

Gangguan oleh alam umumnya terjadi pada sungai misalnya, banjir yang mengakibatkan arus dan gelombang air mengikis dan menggerus profil sepanjang sungai. Gangguan oleh manusia umumnya terjadi pada bagian hilir konstruksi.

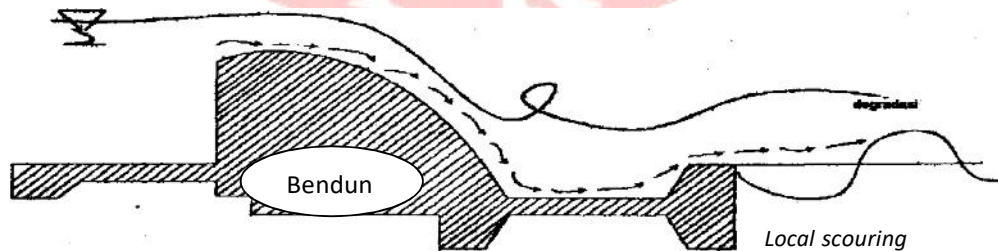


Gambar 2.6 Pemasangan batu kosong dan pasangan batu untuk menghindari gerusan

(sumber : Desain Hidraulik bendung Tetap, Erman, 2006)

2.7.1 Proses Penggerusan Setempat

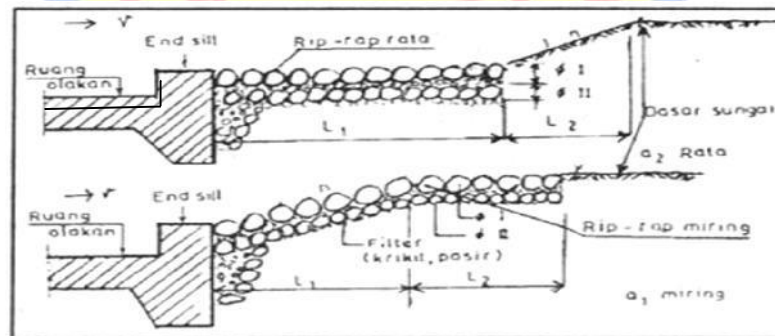
Pada konstruksi bangunan air bagian hilir bangunan (ujung kaki bendung), dasar sungai terkena pengaruh energi air yang berupa *erosi* / penggerusan lokal dimana bila terjadi kecepatan aliran meninggi maka penggerusan akan semakin dalam (gambar 2.23).



Gambar 2.7 : Lokal Scouring dan Degradasi

Masalah yang ditimbulkan oleh Local Scouring di hilir bendung ialah:

- Besarnya penggerusan setempat (*local scouring*) sebanding dengan besarnya energi aliran di hilir bendung.
- Mengganggu kestabilan konstruksi bendung.
- Mengakibatkan patahnya lantai ruang olak dan sayap hilir bendung.
- Memperbesar terjadinya *perkolasi* / *seepage*.
- Penurunan dasar sungai di hilir sungai dan membahayakan pondasi bangunan lain di hilir bendung dan pada zone bawah sungai terjadi sedimentasi.



Gambar 2.8 Bentuk pemasangan *rip-rap*

(sumber : Desain Hidraulik bendung Tetap, Erman, 2006)

2.8 Kedalaman *Local Scouring*

Untuk memperoleh kestabilan bendung harus dapat memperkirakan kedalaman gerusan setempat (*local scouring*) yang terjadi, dimana keadaan tersebut tergantung pada:

- Sifat dan besarnya aliran
- Bentuk dan ukuran hidrolis bagian hilir bangunan.
- Material bahan dasar sungai.

A. *Local Scouring* di hilir beading

➤ *Over spill*



Gambar 2.9 : Overspill

1. Menurut Eggenberger-Muller (melimpas diatas pintu)

$$T = 22,8.H^{0.5}.q^{0.6}.D_{50}^{-0.4} \quad (\text{Ven Te Chow, 1959})$$

Dimana :

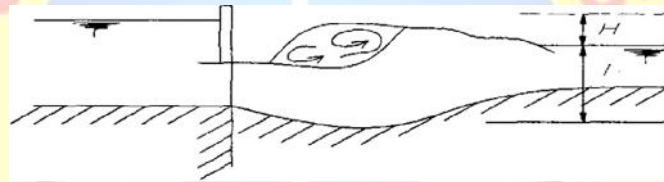
D_{50} = diameter butir material dasar sungai dalam mm dengan 50% yang lebih besar

$T = ds$ = Kedalaman gerusan dalam (*feet*). Dihitung dari permukaan air diatas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan

Q = Debit suatu lebar bangunan terjun (m^2/det).

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara taraf muka air udik dan hilir.

➤ **Under shot**



Gambar 2.10 : Under shot

2. Menurut Eggenberger-Muller (Mengalir dibawah pintu)

$$T = 10.H^{0.5}.q^{0.6}.D_{50}^{-0.4} \quad (\text{Ven Te Chow, 1959})$$

Dimana :

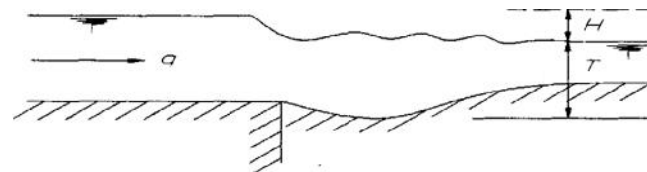
D_{50} = diameter butir material dasar sungai dalam mm dengan 50% yang lebih besar

$T = ds$ = Kedalaman gerusan dalam (*feet*). Dihitung dari permukaan air diatas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan

Q = Debit suatu lebar bangunan terjun (m^2/det).

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara taraf muka air udik dan hilir.

➤ **Cut Off**



Gambar 2.11 : Cut-Off

3. Menurut Kotoulas (Ven Te Chow,1959)

Dimana :

T dan H dengan satuan (m)

D dengan satuan (mm)

T = ds = Kedalaman gerusan dalam (*feet*), dihitung dari permukaan air di atas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan.

q = Debit satuan lebar bangunan terjun (m^2/det) .

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara taraf muka air udik dan hilir.

4. Menurut Prof. Wu (Ven Te Chow,1959)

$$ds = 1,18 \cdot H^{0,235} \cdot q^{0,51}$$

Dimana:

ds = Kedalaman gerusan dalam (*feet*), dihitung dari permukaan air di atas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan.

q = Debit satuan lebar bangunan terjun (m^2/det).

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara tarafmuka air udik dan hilir.

5. Menurut Schoklitsch (Ven Te Chow,1959)

$$ds = \frac{3,1}{a_1} \cdot H^{0,2} \cdot q^{0,5}$$

Dimana:

ds = Kedalaman gerusan dalam (*feet*), dihitung dari permukaan air di atas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan.

q = Debit satuan lebar bangunan terjun (m^2/det) .

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara tarafmuka air udik dan hilir.

D₁₀ = Diameter butir material dasar sungai dalam mm dengan 10 % yang lebih besar.

6. Menurut Varousse (Ven Te Chow,1959)

$$ds = 1,32 \cdot H^{0,225} \cdot q^{0,54}$$

Dimana :

ds = Kedalaman gerusan dalam (*feet*), dihitung dari permukaan air di atas lokasi penggerusan sampai dasar penggerusan.

q = Debit satuan lebar bangunan terjun (m^2/det)

H = Tinggi terjunan dalam (*feet*) antara tarafmuka air udik dan hilir.

B. *Local Scouring* pada penyempitan dan pilar

➤ Lacey (Ven Te Chow, 1959)

$$d_r^3 = 0,473 \cdot \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3} \quad (\text{m atau feet})$$

$$d_r^2 = 1,34 \cdot (q)^{2/3} \cdot f^{-1/3} \quad (\text{m atau feet})$$

Dimana :

d_r = dalam *regim* (m atau ft)

Q = debit air (m³/s atau ft³/s)

q = debit / m²

f = *factor silt* = 1,7 - 2,6 D₅₀^{5,0}

Dari hasil perhitungan dengan teori *regime* dan percobaan, didapat untuk :

- Pilar jembatan : Bundar : $d_s = 2 d_r$ atau $d_s = 1,6 b$
Sreamline : $d_s = 2 d_r$ atau $d_s = b$
Persegi : $d_s = 2 d_r$ atau $d_s = b$

Ketentuan $d_s \sim b$ (lebar pilar) berlaku untuk $\rightarrow \geq 1$ dan $\rightarrow > 2$

Dimana :

H = Tinggi air

b = Lebar pilar

U = Kecepatan air rata-rata di dalam sungai

U_c = Kecepatan air kritis

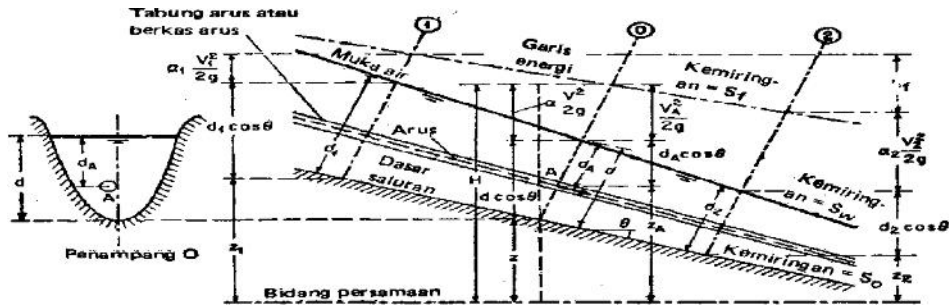
d_s = Kedalaman gerusan dalam *feet*

- Ujung *krib* : $d_s = 2 - 2,7 d_r$
- Aliran tegak lurus sisi sungai : $d_s = 2,25 d_r$

2.9 Prinsip-prinsip Energi dan *Momentum*

2.9.1 Energi dan Aliran Saluran Terbuka

Dalam ilmu hidrolika dasar, diketahui bahwa jumlah energi dalam kaki per pon air dan setiap aliran yang melalui suatu penampang saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah tinggi air dalam kaki, yang setara dengan jumlah dari ketinggian diatas suatu bidang persamaan, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan.



Gambar 2.12 Energi dalam aliran saluran terbuka berubah beraturan
 (sumber : *Open Channel Hydraulics International Student Edition, Ven Te
 Cow,1985*)

Energi dalam saluran terbuka berubah beraturan dengan batasan sebagai berikut dimana:

- H = Jumlah energi dalam setiap aliran melalui setiap penampang
- So = kemiringan dasar saluran
- Z = tinggi pada titik tertentu dari bidang persamaan
- θ = Sudut kemiringan dasar saluran
- d = kedalaman dari permukaan pada titik tertentu dibawah muka air
- $\frac{v^2}{2g}$ = Tinggi kecepatan dari arus yang mengalir melalui titik penampang tertentu.
- Sf = Kemiringan energi
- Sw = kemiringan permukaan air.

Untuk aliran seragam maka :

$$Sf = Sw = So = \sin \theta$$

Dapat dilihat bahwa jumlah energy pada titik A, sebesar :

$$H = z + d \cos \theta + \alpha \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (1)$$

Untuk saluran yang kemiringannya kecil, $\theta \approx 0$ maka jumlah energi yang terjadi adalah :

$$H = z + d + \alpha \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

Menurut prinsip kekekalan energi, jumlah tinggi energi pada penampang satu di hulu akan sama dengan jumlah energi pada penampang dua hilir akan sama dengan jumlah tinggi hf antara kedua penampang, atau:

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 + hf \dots \dots \dots (3)$$

Persamaan ini berlaku untuk aliran sejajar atau berubah beraturan. Untuk suatu saluran yang kemiringannya kecil, persamaan diatas berubah menjadi:

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 = z_2 + y_2 + \alpha_2 + hf \dots \dots \dots (4)$$

jika : $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ dan $hf = 0$, persamaannya menjadi :

$$z_1 + y_1 + \alpha_1 = z_2 + y_2 + \alpha_2 = \text{tetap} \dots \dots \dots (5)$$

2.9.2 Energi Spesifik

Energi *spesifik* dalam suatu penampang saluran dinyatakan sebagai energi air setiap *pon* pada setiap penampang saluran diperhitungkan terhadap dasar saluran. Menurut persamaan (2) untuk $z = 0$, energi spesifik menjadi:

$$E = d \cos \theta + \alpha \dots \dots \dots (6)$$

Untuk saluran yang kemiringannya kecil dan $\alpha = 1$

$$E = y + \dots \dots \dots (7)$$

Rumus umum Debit Air pada saluran :

$$Q = V \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{det})$$

Dimana :

$$Q = \text{debit air} \quad (\text{m}^3/\text{det})$$

$$A = \text{luas penampang saluran} \quad (\text{m}^2)$$

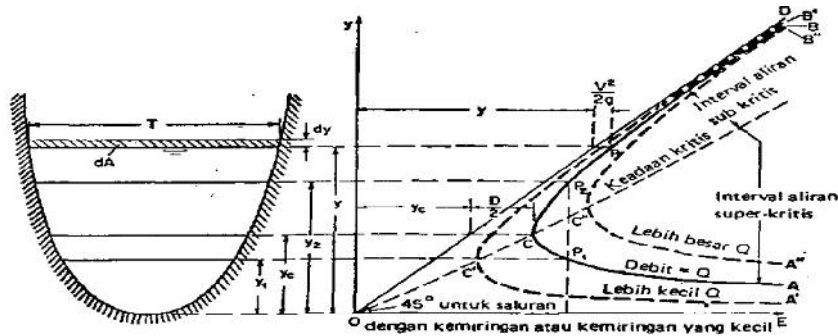
$$V = \text{kecepatan aliran fluida} \quad (\text{m}/\text{det})$$

Dengan $V = \frac{Q}{A}$, maka besarnya Energi *Spesifik* dapat ditulis mrnjadi :

$$E = y + \dots \dots \dots (8)$$

2.9.3 Tolak Ukur Aliran dalam Keadaan Kritis

Pada keadaan kritis dari suatu aliran, tinggi kecepatan sama dengan setengah dari kedalaman hidrolis. Dapat dibuktikan dengan cara deferensial terhadap y dengan ketentuan Q dari persamaan energi spesifik.



Gambar 2.13 Lengkung energi spesifik

(sumber : Open Channel Hydraulics International Student Edition, Ven Te Cow,1985)

Karena $V = -$, untuk persamaan energy *spesifik* pada saluran yang kemiringannya kecil dengan $\alpha = 1$, dapat ditulis :

$$E = y + \frac{V^2}{2g}$$

Pada keadaan kritis, energi *spesifik* adalah minimum, atau $\frac{dE}{dy} = 0$. Sebab itu persamaan diatas menjadi :

$$-\frac{V}{g} = \frac{dV}{dy} \dots \dots \dots (9)$$

Bila tolak ukur diatas dipakai untuk setiap masalah, persyaratan berikut harus dipenuhi:

1. Aliran sejajar atau berubah lambat laun.
2. Kemiringan saluran kecil
3. Koefisien energi dianggap sama dengan satu.

Bila koefisien energi tidak dianggap sama dengan satu, tolak ukur kritis adalah :

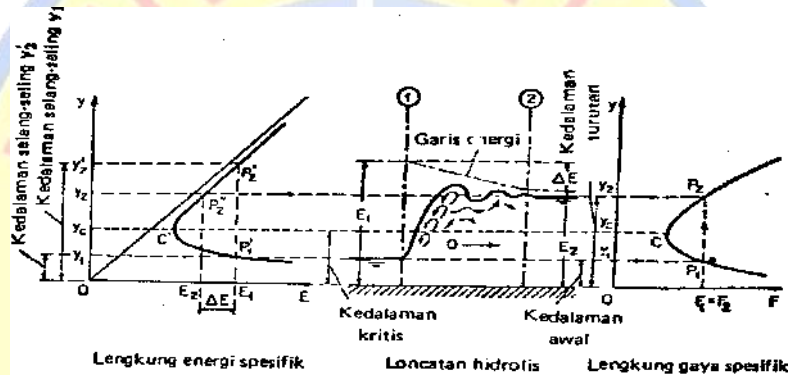
$$\alpha \frac{dV}{dy} = -\frac{V}{g} \dots \dots \dots (10)$$

Untuk saluran yang kemiringannya θ besar dan koefisien energi tolak ukur untuk aliran kritis dengan mudah dapat dibuktikan sebagai:

$$\alpha = \frac{1}{2} \dots\dots\dots(11)$$

Dengan D adalah kedalaman hidrolis dari luas penampang air yang tegak lurus dasar saluran. Dalam hal ini, Bilangan *Froude* dapat dinyatakan sebagai:

$$F = \frac{V}{\sqrt{gD}} \dots\dots\dots(12)$$



Gambar 2.14 Penafsiran loncatan hidrolis berdasarkan lengkung-
lengkung energi dan gaya *spesifik*

(Sumber : Open Channel Hydraulics International Student Edition, Ven Te Cow,1985)

2.9.4 Momentum dalam Aliran Saluran Terbuka

Momentum aliran yang melalui suatu penampang saluran persatuan waktu dinyatakan dengan $\beta w Q V/g$.

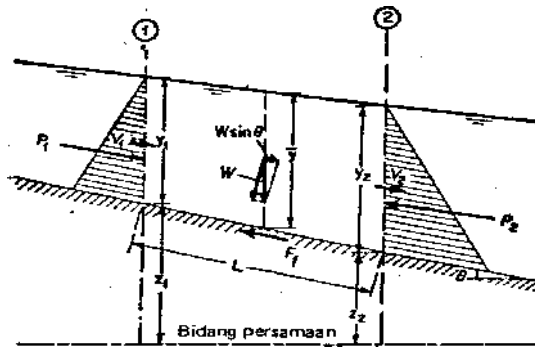
dimana:

β = koefisien momentum

w = berat satuan air dalam pon per kaki kubik

Q = debit dalam kaki kubik per detik

V = kecepatan rata-rata dalam kaki per detik



Gambar 2.15 Penerapan dalil momentum

(Sumber : Open Channel Hydraulics International Student Edition, Ven Te Cow,1985)

Penerapan hukum pada saluran dengan kemiringan besar (gambar 2.33), maka rumusan perubahan *momentum* persatuan waktu dalam sosok air di antara penampang 1 dan 2 dapat ditulis :

$$\frac{1}{g} (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1) = P_1 - P_2 + W \sin\theta - F_f \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- P₁ dan P₂ = resultante tekanan yang bekerja pada kedua penampang
- W = berat air yang terdapat pada kedua penampang
- F_r = jumlah gaya hiar dari gesekan dan tekanan yang bekerja di sepanjang bidang kontak antara air dan saluran.

Debit melalui cabang saluran dapat dihitung sebagai hasil perkalian kecepatan rata-rata dengan luas rata-rata, atau:

$$Q = \frac{1}{2}(V_1 + V_2) b y$$

Masukkan semua besaran diatas pada persamaan (13), lalu disederhanakan:

$$z_1 + y_1 + \beta_1 \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \beta_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots(14)$$

2.9.5 Gaya Spesifik

Gaya spesifik adalah gaya penjumlahan antara momentum aliran melalui penampang saluran per satuan waktu pada satuan berat air dengan gaya per satuan berat air. Bila memakai dalil momentum untuk suatu bagian saluran yang lurus, mendatar dan prismatis, maka gaya-gaya luar akibat gesekan dan akibat berat air dapat diabaikan, sehingga dengan $\theta = 0$ dan $F_f = 0$ dan juga dengan menganggap

$$\beta_1 = \beta_2 = 1,$$

menjadi :

$$\frac{V}{g} (V_2 - V_1) = P_1 - P_2$$

Gaya-gaya yang hidrostatis P_1 dan P_2 dapat dinyatakan sebagai :

$$P_1 = w z_1 A_1 \text{ dan } P_2 = w z_2 A_2$$

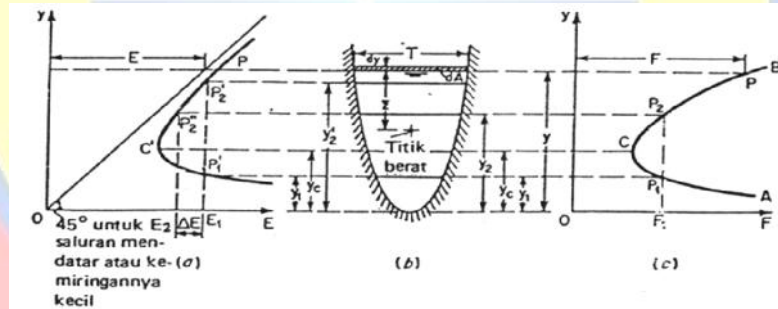
Dengan z_1 dan z_2 merupakan jarak titik berat masing-masing bagian air seluas A_1 dan A_2 dibawah muka air.

$$V_1 = \frac{V}{A_1} \text{ dan } V_2 = \frac{V}{A_2}$$

Persamaan momentum diatas dapat ditulis :

$$\frac{V}{g} + z_1 A_1 = \frac{V}{g} + z_2 A_2 \dots\dots\dots(15)$$

$$F = \frac{V}{g} + zA \dots\dots\dots(16)$$



Gambar 2.16 : Lengkung spesifik dengan lengkung Energi Spesifik.(a) lengkung Es; (b) penampang saluran; (c) lengkung gaya spesifik
(Sumber : Open Channel Hydraulics International Student Edition, Ven Te Cow,1985)

2.9.6 Aliran melalui Kaki Pelimpah

Gambar 2.35 menunjukkan kecepatan aliran teoritis pada kaki pelimpah dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_1 = \sqrt{(2gZ - y_1)} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

Z = tinggi jatuh atau jarak vertikal dari permukaan reservoir hulu sampai lantai

Ha = tinggi kecepatan hulu

y_1 = kedalaman aliran di kaki pelimpah

V_1 = kecepatan aliran di kaki pelimpah

Rumus kecepatan V_1 tidak berlaku untuk kemiringan lebih kecil dari 1 : 0,6 sampai 1 : 0,8. Di ujung permukaan pelimpah yang miring, aliran mengalami perubahan arah yang mendadak sehingga timbul tekanan *sentrifugal*, agar tidak terjadi gerusan maka permukaan kaki pelimpah dibuat lengkung dengan jari-jari R:

$$R=10 \frac{(v+0.4, +1)}{(3.6 +6)} \dots\dots\dots(18)$$

Tekanan *sentrifugal* dapat dihitung dengan mempergunakan rumus :

$$P = \frac{Wd}{g} \times \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

W = berat isi air

d = tinggi masa air

r = jari-jari lengkung =R

v = kecepatan aliran

2.10 Aliran Kritis Perhitungan dan Pemakaiannya

2.10.1 Aliran Kritis

Beberapa persyaratan penting aliran dalam keadaan kritis melalui penampang saluran adalah :

1. Debit tertentu, energi spesifiknya minimum.
2. Debit maksimum, energi spesifiknya tertentu.
3. Gaya spesifik minimum untuk debit tertentu.
4. Tinggi kecepatan sama dengan setengah kedalaman hidrolis untuk saluran dengan kemiringan kecil.
5. Bilangan *Froude* sama dengan satu.
6. Kecepatan aliran disaluran dengan kemiringan kecil yang distribusi kecepatannya merata, sama dengan kecepatan gelombang kecil di air dangkal akibat gangguan setempat.

Kedalaman aliran kritis tergantung pada unsur-unsur geometrik A (*bias* penampang) dan D (kedalaman hidrolis) dari penampang saluran, bila Q (debit)

konstan dan kemiringan saluran seragam sepanjang saluran maka kedalaman kritis akan sama pada semua penampang saluran.

Batasan-batasan yang perlu :

1. Penampang kritis (*Critical Section*) adalah penampang tertentu pada saluran.
2. Aliran kritis (*Critical Flow*) adalah apabila keadaan kritis terjadi pada sepanjang saluran yang lurus.
3. Kemiringan kritis (*Critical Slope*) adalah kemiringan saluran yang membuat debit dan kedalaman kritis tetap.
4. Kemiringan landai (*Mild Slope*) atau kemiringan subkritis adalah kemiringan saluran yang lebih kecil dari kemiringan kritis mengakibatkan aliran lebih lambat dari keadaan subkritis dan debit tertentu.
5. Kemiringan curam (*Steep Slope*) atau kemiringan super kritis (*Super Critical Slope*) adalah kemiringan kritis yang menimbulkan aliran lebih cepat.

Untuk memperoleh kestabilan yang lebih baik, maka dalam merancang saluran agar memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

1. Faktor kekasaran saluran
2. Penampang melintang.
3. Kemiringan saluran.
4. Jumlah endapan (sedimentasi).

2.10.2 Faktor Penampang untuk Perhitungan Aliran Kritis

Dengan memasukkan $V = Q / A$ pada persamaan (19) lalu disederhanakan, didapat:

$$Z = \frac{Q^2}{gA^3} \dots\dots\dots(20)$$

Jika koefisien energy tidak dianggap sama dengan satu :

$$Z = \frac{Q^2}{gA^3} \dots\dots\dots(21)$$

Pada persamaan diatas, $Z=A\sqrt{\dots}$ merupakan faktor penampang untuk perhitungan aliran kritis.

$$Q = Z \dots\dots\dots(22)$$

Atau dengan persamaan (22) dalam bentuk :

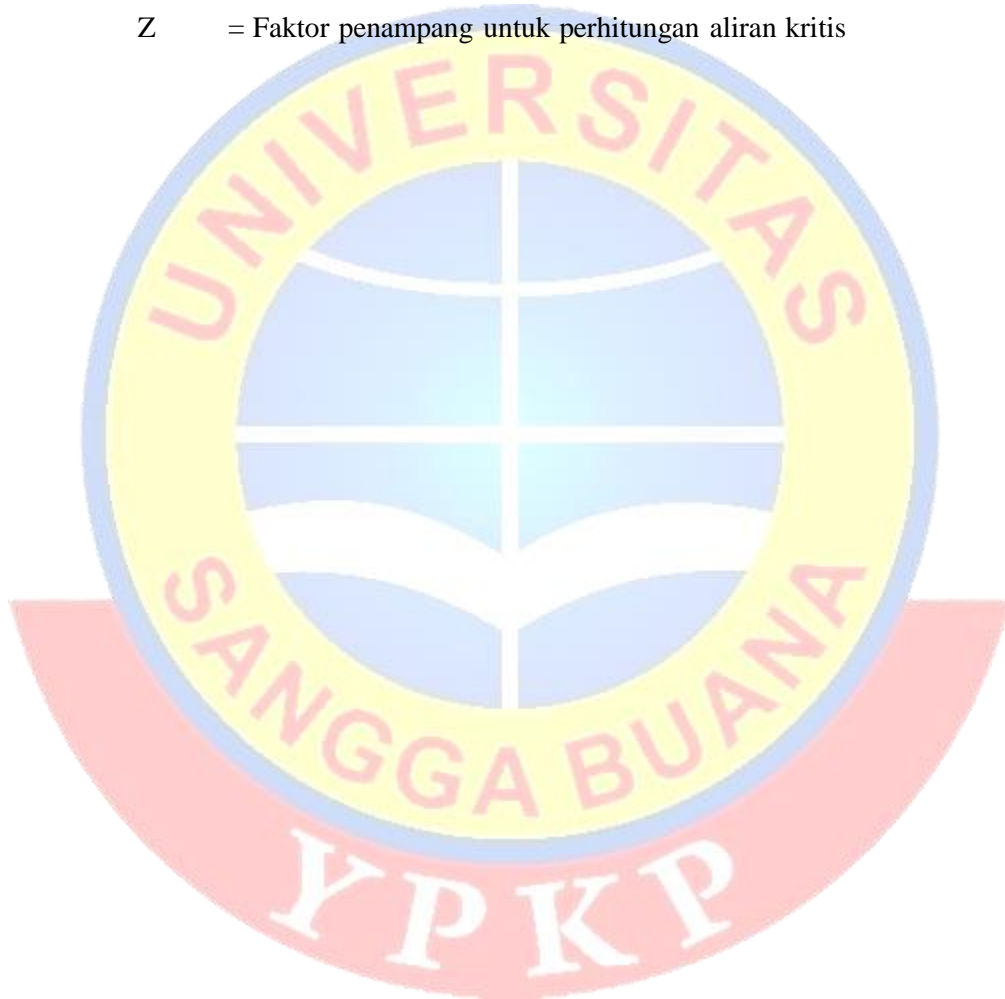
$$Q = Z \sqrt{\dots} \dots \dots \dots (23)$$

Dimana :

G = gravitasi = 9,8 -10m/det

Q = Debit aliran air (m³)

Z = Faktor penampang untuk perhitungan aliran kritis



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Persiapan Penelitian

3.1.1 Umum

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di laboratorium uji model hidraulik terbuka (laboratorium hidraulik) Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Maksud dari penelitian ini untuk mengamati stabilitas tanggul pengendalian banjir terhadap debit aliran normal dan limpasan permukaan.

Percobaan ini dilakukan dengan menggunakan saluran terbuka dengan sebuah model aliran sungai yang dilengkapi dengan alat-alat untuk memompa air. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, sebelum melakukan penelitian terlebih dahulu dilakukan beberapa persiapan dengan memeriksa tempat dan peralatan serta bahan yang akan digunakan pada saat penelitian.

3.1.2 Penggunaan Alat dan Bahan

Adapun data model saluran dan alat serta bahan yang dipakai untuk menunjang pelaksanaan proses penelitian ini sebagai berikut :

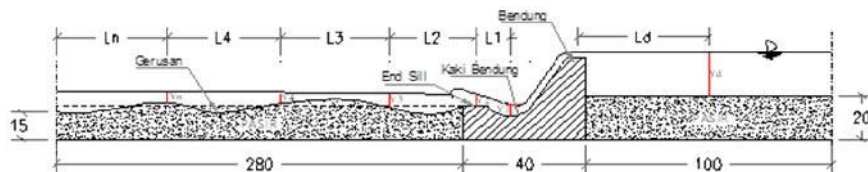
1. Data saluran :

Penelitian yang dilakukan pada saluran terbuka dengan sebuah model aliran sungai yang terbuat dari material kaca sebagai berikut :

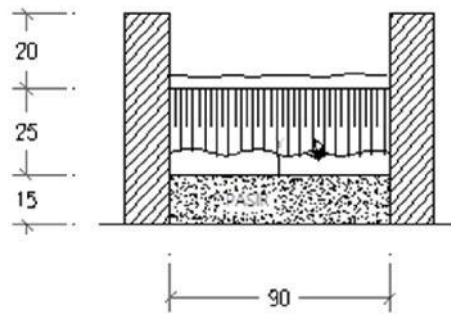
Lebar saluran (b) = 90 cm

Tinggi saluran (h) = 60 cm

Panjang saluran (l) = 280 cm



Gambar 3.1 : Penampang memanjang model saluran terbuka



Gambar 3.2 : Penampang melintang model saluran terbuka

2. Alat yang digunakan :
 - a. Pompa air
Pompa air ini memiliki kapasitas 15 liter/detik, yang digunakan untuk memompa air ke saluran secara sirkulasi.
 - b. Plat Strip (Pintu Air Romijn).
Plat strip ini digunakan untuk mengatur debit yang masuk, kecepatan dan kedalaman air.
 - c. Check Dam.
Check Dam ini digunakan untuk membendung air pada saat keluar.
 - d. Meteran.
Alat ini digunakan untuk mengukur kedalaman air mengalir, kedalaman gerusan dan mengukur jarak daerah yang tergerus.
 - e. Camera.
Alat ini digunakan untuk dokumentasi pada saat penelitian berlangsung.
 - f. Benang wall.
Digunakan untuk sketsa atau menandai alut-alur dasar saluran yang mempunyai garis kontur.
 - g. Alat bantu. (ember, benang, kanebo, alat tulis)
Digunakan untuk membantu kelancaran pada saat penelitian berlangsung.
3. Bahan yang digunakan :
 - a. Pasir yang bersih dan bebas dari kandungan lumpur.

Bahan ini digunakan untuk penghamparan dasar saluran, dibuat dengan menggunakan pasir beton dengan kandungan kerikil halus dengan tujuan untuk mengetahui gerusan yang terjadi pada dasar saluran yang tergerus oleh aliran air.

b. Air PDAM.

Air ini digunakan selama percobaan yang ditampung dan terus berputar pada model saluran laboratorium uji terbuka.

3.2 Pelaksanaan Penelitian

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa penelitian dilakukan pada model saluran terbuka dilaboratorium uji model hidrolis terbuka dengan tinggi saluran 60 cm dan lebar 90 cm serta panjang 280 cm.

Tahapan pelaksanaan penelitian yang dilaksanakan pada saluran terbuka tersebut adalah :

- a. Padatkan Pasir terlebih dahulu
- b. Pasangkan papan dihilir
- c. Pasangkan benang woll sebagai titik koordinat awal
- d. Reservoir selalu tiap air
- e. Buka pintu air setiap 0,5 cm, proses air mengalir selama 2 jam
- f. Pengukuran debit Thomsom di hilir saluran dan pengukuran kedalaman air dengan menggunakan rumus :

$$V = Q/A$$

$$Q = 1,38 (ht)^{5/2}$$

Dimana :

V = Kecepatan

Q = Debit

A = Luas

ht = Tinggi air pada saluran dihilir

b = Lebar air pada saluran dihilir

g. Saat pengeringan, kurang lebih 30 menit setelah pompa air dimatikan, setelah itu dilakukan pengukuran kedalaman gerusan pada dasar saluran dengan membuat topografi dengan benang woll.

h. Rapiakan lagi pasir seperti urutan a – g untuk percobaan selanjutnya sampai 20 kali percobaan.

3.3 Pengamatan Pola Aliran

Perlu diperhatikan disini, bahwa penelitian yang diamati pada saluran terbuka adalah untuk mengamati perilaku gerak air atau pola aliran air, sedimentasi atau gerusan pada dasar saluran, hal ini diakibatkan dari perubahan debit dan kecepatan air yang melalui saluran.

3.4 Pengumpulan Data

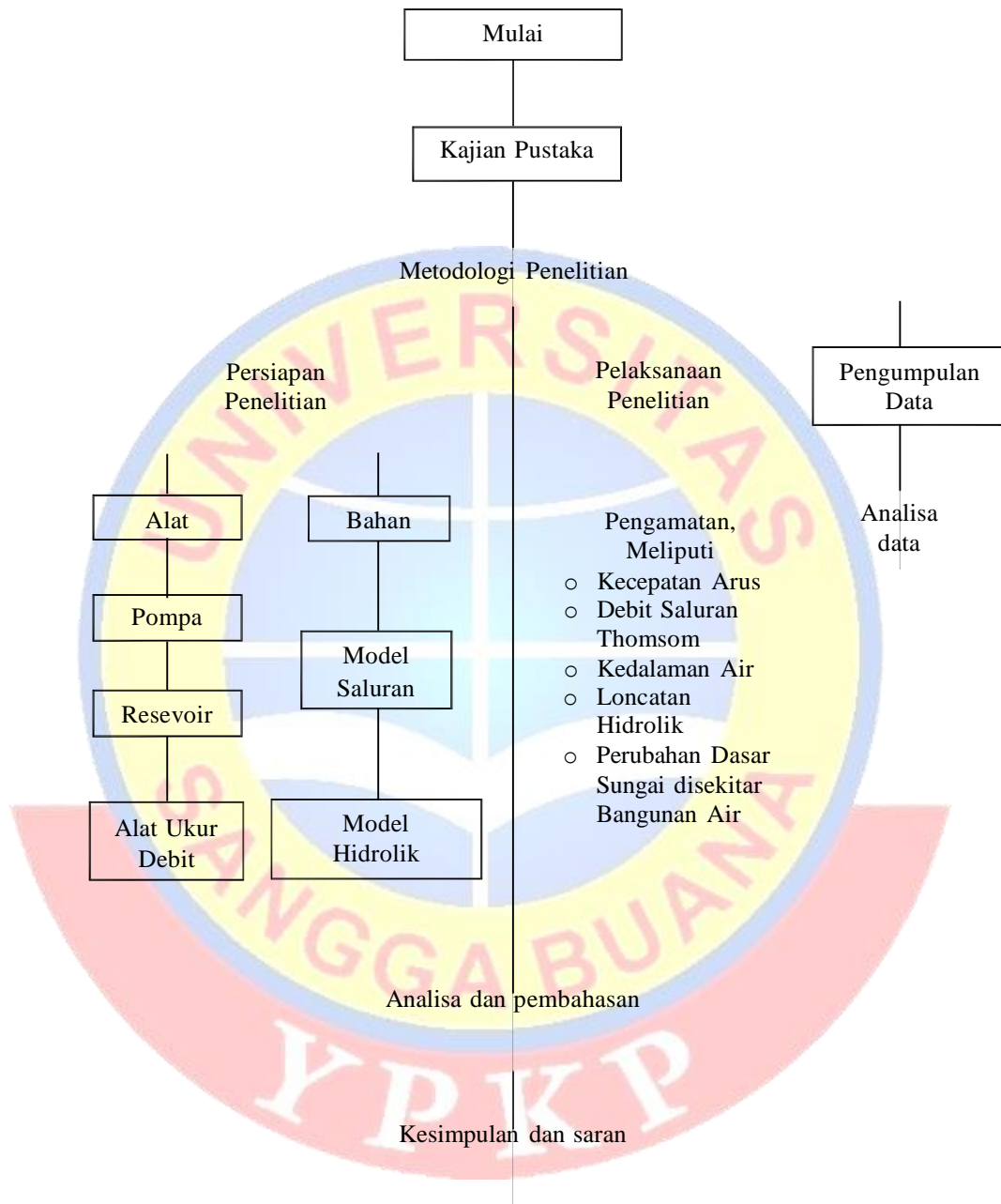
Pengambilan data-data penelitian dilakukan pada saat penelitian berlangsung agar data yang dihasilkan sesuai dan akurat. Adapaun data-data yang diambil pada saat penelitian di laboratorium uji model hidrolis yaitu :

- a. Debit air yang mengalir
- b. Kedalaman aliran air
- c. Kedalaman gerusan akibat air yang mengalir dan loncatan hidrolis
- d. Data topografi
- e. Dokumentasi penelitian
- f. Data pelengkap

Apabila pengambilan data-data tersebut telah selesai dilakukan dan diamati di laboratorium, maka data tersebut di cek kembali agar tidak ada yang kurang atau terlewatkan. Sehingga data yang telah diambil tersebut bisa dianalisa.

3.5 Analisa Data

Fungsi dari analisa data yaitu untuk mengetahui hasil dari pengujian atau penelitian yang telah dilakukan di laboratorium uji model hidrolis terbuka, hingga didapatkan suatu kesimpulan dari hasil penelitian tersebut dan penelitian yang telah dilakukan hasilnya dapat dipertanggung jawabkan.



Gambar 3.3. : Bagan alir metodologi penelitian



Gambar 3.4 : Alat-alat Penelitian



Gambar 3.5 : Model Hidraulik Saluran Terbuka



Gambar 3.6 : Bangunan Spill Way (Bendung)



Gambar 3.7 : Saluran Thomson



Gambar 3.8 : Pintu Romijn

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Pengamatan

Dalam penyusunan bab ini, penulis akan menyampaikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan di laboratorium uji model hidraulik, dimana maksud dari pada penelitian yang dilakukan adalah untuk mendapatkan suatu data tentang pembahasan penggerusan bendung sungai dengan pendekatan yang akurat sehingga dapat dijadikan bahan untuk menganalisa suatu hasil penelitian yang berkaitan dengan perencanaan bangunan sungai khususnya bangunan pelimpah. Selain itu juga, pelaksanaan penelitian yang dilaksanakan di laboratorium uji model hidraulik adalah untuk mengamati perubahan dasar saluran dan kondisi gerusan dengan kandungan sedimentasi, sehingga penggerusan setempat pada bangunan bendung dapat diamati dan diteliti oleh penulis untuk pengumpulan data-data.

Data hasil pengamatan yang telah dilakukan di laboratorium uji model hidraulik Universitas Sangga Buana (USB) YPKP Bandung atas dasar:

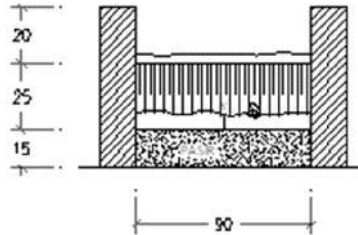
- a) Besaran debit atau aliran debit pada saluran Thompson (Q).
- b) Kedalaman aliran (y).
- c) Perubahan topografi akibat penggerusan (ds).

Pengamatan ini dilakukan dengan kondisi dasar saluran dihilir di lapis pasir dengan ketebalan yang tetap dan debit yang bertambah besar. Dengan adanya perbedaan kondisi dasar saluran terbuka tersebut, maka data pengamatan dari penelitian ini adalah terhadap :

- a) Pengamatan pola aliran hidrolika dengan pasir dan *spillway*.
- b) Pengamatan pola penggerusan lapisan pasir akibat aliran air.

Dari penelitian ini, penulis ingin mengetahui sejauh mana gerusan setempat dapat terjadi di kaki bendung apabila sungai dengan debit yang berubah-ubah. Selain itu dari penelitian yang telah dilakukan penulis akan mendapat beberapa kesimpulan yang akan berguna untuk perencanaan penanggulangan masalah tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan pengamatan pada aliran hidraulika dengan dasar saluran berpasir sesuai dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 4.1 : Penampang Memanjang dan Melintang Saluran

4.1.2 Analisa Perhitungan Debit Aliran.

Perhitungan debit (Q) dilakukan atas dasar pengamatan terhadap alat-alat ukur, antara lain :

1. Untuk debit aliran (Q) yang dipakai adalah berdasarkan kedalaman air pada saluran Thompson yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q = 1,38. H^{5/2} \quad (\text{m}^3/\text{det})$$

Dimana :

H_t = kedalaman air pada saluran Thompson (m)

2. Debit persatuan lebar

Debit persatuan lebar diperhitungkan atas dasar debit (Q) yang terjadi per satuan lebar saluran.

$$q = \frac{Q}{b} \quad (\text{m}^2/\text{det})$$

Dimana :

Q = debit aliran (m^3/det)

b = lebar saluran (m)

4.1.3 Analisa Perhitungan Kecepatan Aliran.

Perhitungan kecepatan aliran pada saluran terbuka ini dapat menggunakan rumus yaitu:

$$V = \frac{Q}{A} = V = \frac{Q}{b \cdot H} \quad (\text{m}/\text{det})$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m³/det)

b = Lebar basah saluran (m)

y = kedalaman muka air (m)

4.1.4 Analisa Bilangan Froude.

Perhitungan besarnya bilangan *Froude* (Fr) maka rumus yang digunakan yaitu :

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = Percepatan gravitasi bumi (9,81 m/det)

y = Kedalaman muka air (m)

Untuk selanjutnya besarnya bilangan *Froude* (Fr) dapat menyatakan perbedaan jenis aliran dengan ketentuan sebagai berikut :

Fr < 1 merupakan aliran sub-kritis (Laminer)

Fr = 1 merupakan aliran kritis (Transisi)

Fr > 1 merupakan aliran super-kritis (Turbulensi)

4.1.5 Perhitungan Energi

Perhitungan energi meliputi perhitungan energi potensial dan energi kinetik yang kemudian menghasilkan nilai energi spesifik. Perhitungan berdasarkan rumus :

Rumus energi potensial :

$$E = \gamma \cdot g \cdot y$$

Dimana :

γ = berat jenis air

g = percepatan gravitasi bumi

y = kedalaman muka air

Rumus energi kinetik :

$$E = \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Dimana :

V = kecepatan aliran

g = Kecepatan gravitasi bumi

Rumus energi spesifik :

Dimana :

E_p = energi potensial

E_k = energi kinetik

Rumus energi sebelum loncatan :

$$E_1 = y + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Dimana :

y_1 = kedalaman muka air dititik 1 (m)

V = kecepatan aliran air (m/det)

g = kecepatan gravitasi bumi (9,81 m/det)

Rumus energi setelah loncatan :

$$E = y + \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Dimana :

y_n = kedalaman muka air dititik terakhir (m)

V = kecepatan aliran air (m/det)

g = kecepatan gravitasi bumi (9,81 m/det)

4.1.6 Analisa Gerusan Setempat

Besarnya penggerusan setempat dihitung dari permukaan air diatas titik atau tempat penggerusan dasar saluran sampai titik atau tempat penggerusan tersebut. Pehitungan dilakukan berdasarkan rumus Prof. Wu dan Varrousse yaitu :

Menurut Prof. Wu :

$$d_1 = 1,18 \cdot H^{0,2} \cdot q^{0,5}$$

Menurut Varrousse :

$$d_2 = 1,32 \cdot H^{0,2} \cdot q^{0,54}$$

Dimana :

d_s = kedalaman gerusan

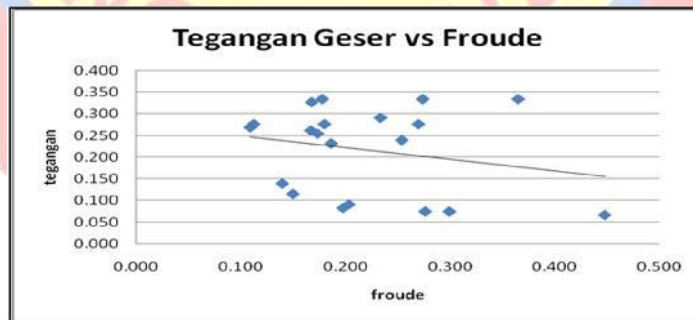
H = tinggi terjunan antara muka air diudik dan hilir

q = debit persatuan lebar

4.1.7 Analisa dan Pengolahan Data Penelitian.

Dari data-data yang telah didapat pada saat melaksanakan penelitian, data tersebut dapat di analisa menggunakan rumus-rumus yang di jelaskan sebelumnya.

1. Tegangan Geser (τ) dengan Bilangan *Froude*



Gambar 4.2 : Tegangan Geser (τ) dengan Bilangan *Froude* (F1)

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan Tegangan geser (τ) dengan bilangan *Froude* dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$\tau = \frac{V}{y} = F$$

Maka :

$$V = 40$$

$$= \tau \cdot \overline{y}$$

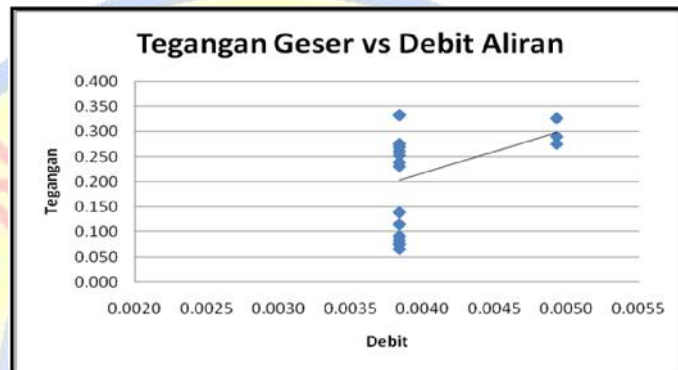


$$= 0,334 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,043}$$

$$= 0,216$$

$$\frac{0,216}{0,2370} \times 100\% = 0,911\%$$

2. Tegangan Geser (τ) dengan Debit Aliran (Q)



Gambar 4.3 : Tegangan Geser (τ) dengan Debit aliran (Q)

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan tegangan Geser (τ) dengan Debit Aliran dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$\tau = V \cdot A = Q$$

Maka :

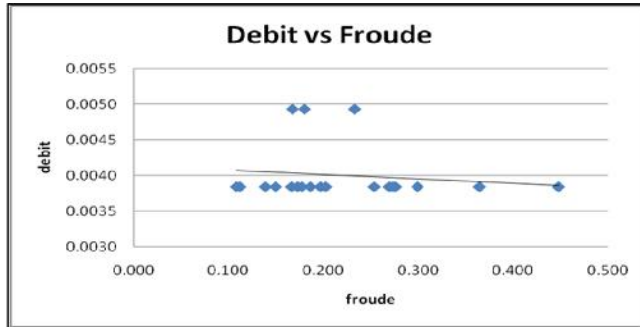
$$V = \frac{\tau}{A}$$

$$V = \frac{0,334}{0,0387}$$

$$= 8,630$$

$$\frac{8,630}{0,1777} \times 100\% = 48,564\%$$

3. Debit Aliran (Q) dengan Bilangan Froude (Fr)



Gambar 4.4 : Debit aliran (Q) dengan Bilangan Froude (F1)



Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan debit aliran (Q) dengan bilangan *Froude* dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$Q = F$$

Maka :

$$Q = \frac{V}{.y}$$

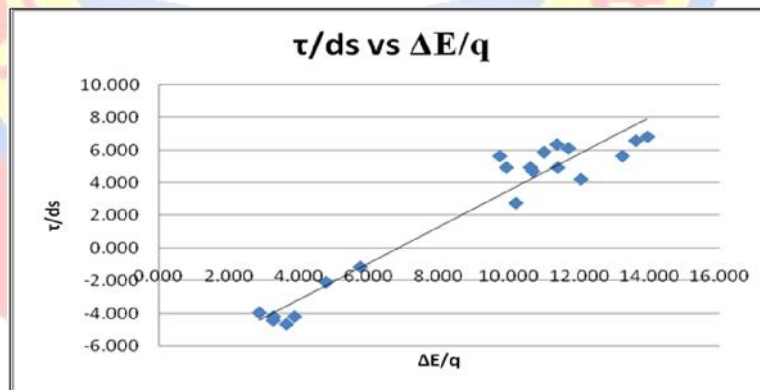
$$V = Q \cdot \overline{.y}$$

$$= 0,0049 \cdot 9,81 \cdot 0,037$$

$$= 0,0029$$

$$\frac{0,0029}{1,1405} \times 100\% = 0,0206\%$$

4. Tegangan Geser (τ) per Gerusan dengan ΔE per debit persatuan lebar



Gambar 4.5 : Tegangan Geser (τ) per Gerusan dengan ΔE per debit persatuan lebar

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan tegangan geser (τ) per kedalaman gerusan (ds) dengan ΔE debit persatuan lebar (q) dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$\frac{\tau}{ds} = \frac{\Delta E}{q}$$

$$\tau q = \frac{\Delta}{d E}$$



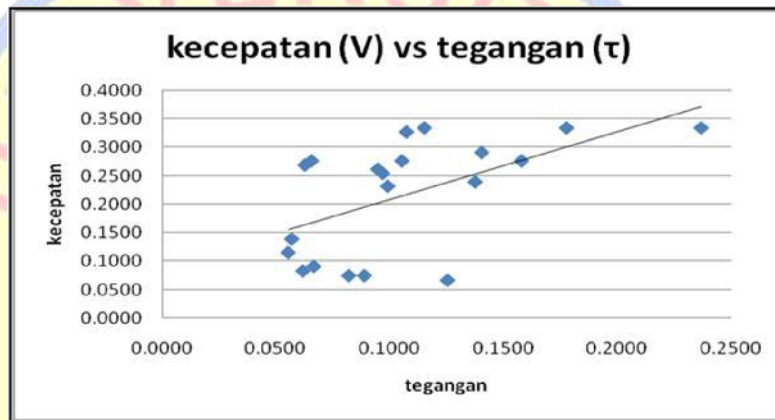
$$a = \frac{\tau}{\Delta}$$

$$d = \frac{0,334 \cdot 0,0043}{0,0210}$$

$$= 0,068$$

$$\frac{0,068}{0,039} \times 100\% = 1,743\%$$

5. Kecepatan (V) dengan Tegangan (τ)



Gambar 4.6 : Kecepatan (V) dengan tegangan geser (τ)

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan antara kecepatan (v) dengan tegangan geser (τ) dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$V = \tau$$

$$- = \tau$$

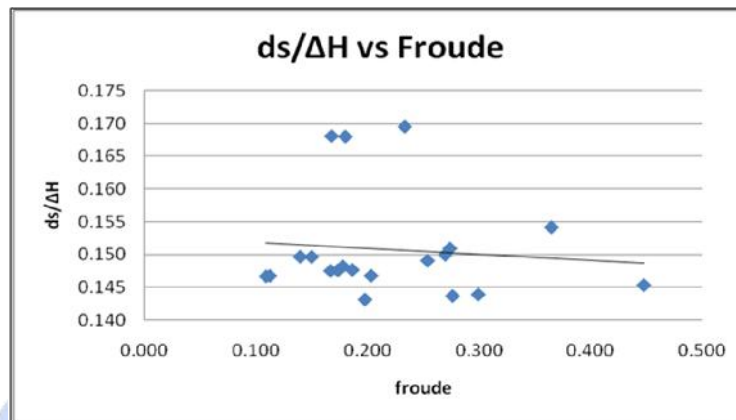
$$= \tau$$

$$= 0,0387 \cdot 0,3384$$

$$Q = 0,0130$$

$$\frac{0,0130}{0,0038} \times 100\% = 3,421\%$$

6. Gerusan (ds) per Tinggi Loncatan (ΔH) dengan Froude



Gambar 4.7 : Hubungan Gerusan (ds) per Tinggi Loncatan (ΔH) dengan Froude

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan kecepatan pada En/E1 dengan bilangan *Froude* dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$\frac{d}{\Delta} = F$$

$$\frac{d}{\Delta} = \frac{v}{.y}$$

$$d \cdot \frac{v}{.y} = \Delta H \cdot v$$

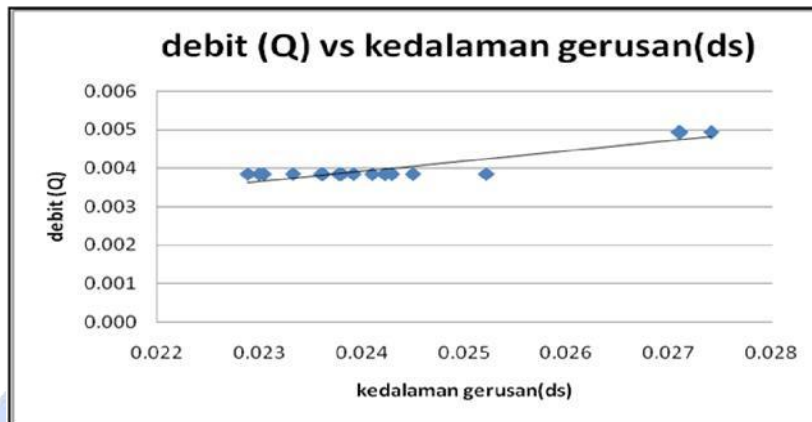
$$v = \frac{d \cdot .y}{\Delta}$$

$$v = \frac{0,0274 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,037}}{0,1617}$$

$$= 0,1020$$

$$\frac{0,1020}{0,1405} \times 100\% = 0,725\%$$

7. Debit Aliran (Q) dengan Kedalaman Gerusan (ds)



Gambar 4.8 : Debit Aliran (Q) dengan Kedalaman Gerusan (ds)

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan kecepatan Debit Aliran (Q) dengan Kedalaman Gerusan (ds) dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

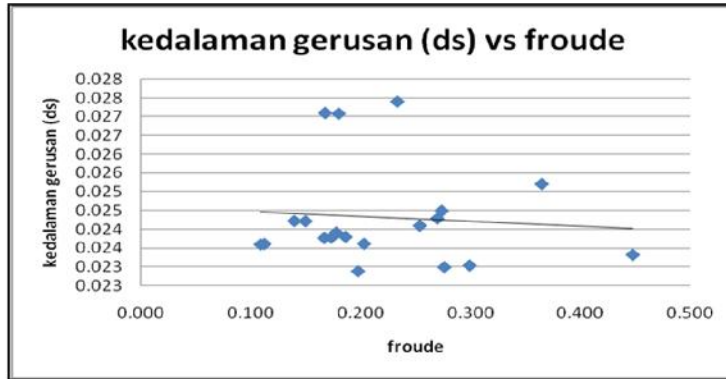
$$v = \frac{Q}{A \cdot d}$$

$$v = \frac{0,0274}{0,0333}$$

$$= 0,822$$

$$\frac{0,822}{0,1405} \times 100\% = 5,850\%$$

8. Kedalaman gerusan (ds) dengan Froude



Gambar 4.9 : Kedalaman gerusan (ds) dengan Froude



Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan Kedalaman gerusan (ds) dengan Froude dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$d = F$$

$$Q = \frac{V}{\cdot y}$$

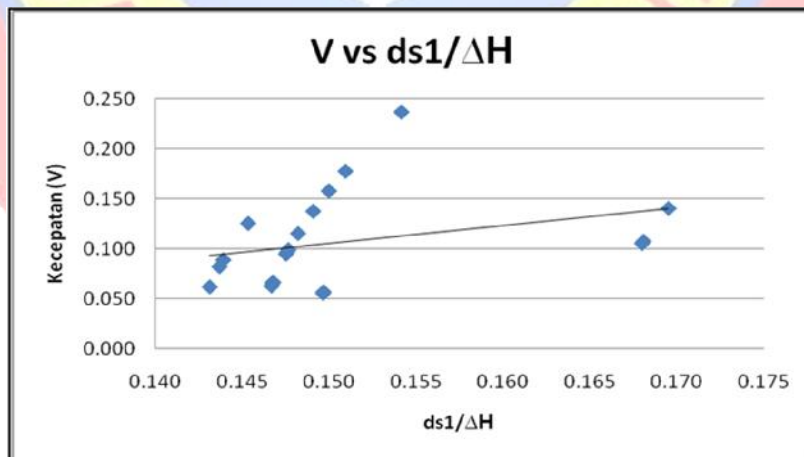
$$V = d \cdot \frac{\cdot y}{\cdot y}$$

$$V = 0,0274 \cdot \frac{9,81 \cdot 0,037}{0,016}$$

$$\frac{0,016}{0,1405} \times 100\% = 0,113\%$$

9. Kecepatan Aliran dengan Faktor Aliran .

Berdasarkan gambar grafik menggambarkan hubungan antara kecepatan aliran (V) dengan faktor aliran ($ds1/\Delta H$), dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh kedalaman air pada akhir loncatan (ΔH) dan kedalaman aliran normal (Y_n) dengan pola debit persatuan lebar (q).



Gambar 4.10 : Kecepatan Aliran (V) dengan Faktor Aliran ($ds1/\Delta H$).

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan kecepatan aliran (V) dengan faktor aliran ($ds1/\Delta H$) dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$- = \frac{d_1}{\Delta}$$

$$a_1 = \frac{\Delta H}{d_1}$$

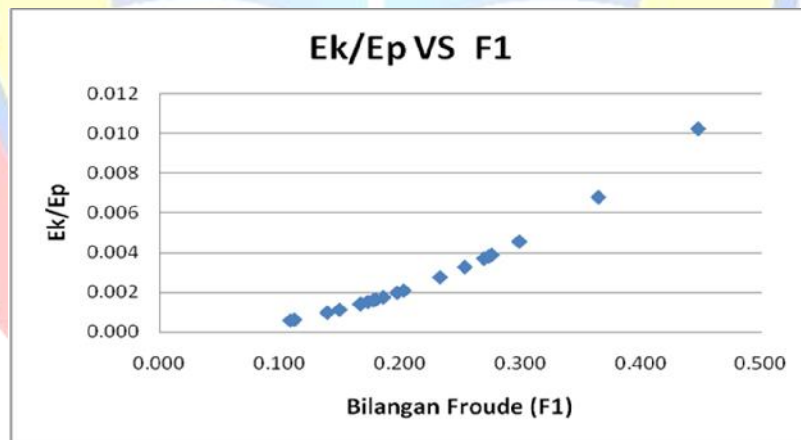
$$a_1 = \frac{0,0038 \cdot 0,1636}{0,0387}$$

$$\frac{d_1}{d_1} = \frac{0,0161^m}{0,0161}$$

$$\left(\frac{d_1}{d_1} \right) \times 100\% = \frac{0,0252}{0,0252} \times 100\% = 0,64\%$$

10. Energi Kinetik per Energi Potensial dengan Bilangan Froude.

Berdasarkan gambar grafik menggambarkan hubungan antara energi kinetik (Ek) per energi potensial (Ep) dengan bilangan froude (F), dimana energi tersebut didapat dari fungsi kecepatan dengan grafitasi bumi dan kedalaman air.



Gambar 4.11 : Energi Kinetik per Energi Potensial (Ek/Ep) dengan Bilangan Froude (F).

Dari hasil grafik tersebut dapat dihitung perbandingan energi kinetik per energi potensial (Ek/Ep) dengan debit aliran (Q) dengan mengambil nilai maksimum yaitu :

$$= V$$

$\frac{E}{y}$



$$v = \frac{E}{\dots}$$

$$v = \frac{0,0008 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 0,008}}{0,0785}$$

$$V = 0,0028 \text{ m/u}$$

$$\frac{V(d)}{(\dots)} \times 100\% = \frac{0,0028}{0,1254} \times 100\% = 0,02\%$$

4.2 Pembahasan Analisa Data.

Dari analisa data yang didapat sebelumnya, kemudian analisa data tersebut dibahas sehingga mendapatkan hasil kesimpulan dari hubungan-hubungan grafik tersebut.

1. Faktor Tegangan geser (τ) dengan Bilangan froude (F)

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara faktor tegangan (τ) dengan faktor bilangan froude (F) dimana pada saat faktor tegangan geser (τ) minimum sebesar 0,0668 memiliki nilai bilangan froude (F) minimum 0,4478 dan untuk faktor tegangan geser (τ) maksimum 0,334 memiliki nilai bilangan froude (F) maksimum sebesar 0,3648. Berdasarkan gambar 4.2 memiliki kecenderungan semakin kecil faktor tegangan geser maka akan semakin besar pula faktor nilai bilangan froude.

Jadi dari analisa data dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan sangat berpengaruh terhadap bilangan froude, kedalaman air dan debit aliran pada kaki bendung.

2. Tegangan geser (τ) dengan Faktor debit aliran (Q)

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara tegangan geser (τ) dengan faktor debit aliran (Q) dimana pada saat tegangan geser (τ) minimum sebesar 0,0750 memiliki nilai faktor debit aliran 0,0038 dan untuk tegangan geser (τ) maksimum 0,334 memiliki nilai faktor debit aliran (Q) sebesar 0,0038. Berdasarkan

gambar 4.3 semakin besar nilai tegangannya makan semakin besar pula debit alirannya.



Dari hasil analisa data maka dapat diketahui bahwa kecepatan itu berpengaruh pada debit aliran pada kaki bendung.

3. Debit aliran (Q) dengan Faktor Bilangan Froude (F)

Gambar grafik 4.4 menunjukkan hubungan antara debit aliran (Q) dengan faktor bilangan froude (F), dimana pada saat debit aliran minimum sebesar 0,0038 memiliki nilai faktor bilangan froude (F) sebesar 0,4478 dan debit aliran maksimum sebesar 0,0049 memiliki nilai faktor bilangan froude sebesar 0,2331. Berdasarkan gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran air (Q) maka semakin besar pula faktor bilangan froudenya.

Dari hasil analisa data maka dapat diketahui bahwa semakin besar kecepatan maka akan berpengaruh pada debit dan bilangan froude.

4. Tegangan Geser (τ) per Gerusan (ds) dengan kehilangan energi (ΔE) per debit persatuan lebar (q)

Gambar grafik 4.5 menunjukkan hubungan Tegangan Geser (τ) per Gerusan (ds) dengan kehilangan energi (ΔE) per debit persatuan lebar (q), dimana pada saat Tegangan Geser (τ) per Gerusan (ds) minimum sebesar -4,6890 memiliki nilai kehilangan energi (ΔE) per debit persatuan lebar (q) 3,6315 dan Tegangan Geser (τ) per Gerusan (ds) maksimum 13,9427 memiliki nilai kehilangan energi (ΔE) per debit persatuan lebar (q) 6,7991. Berdasarkan gambar 4.5 memiliki kecenderungan semakin kecil Tegangan Geser (τ) per Gerusan (ds) maka semakin besar pula nilai kehilangan energi (ΔE) per debit persatuan lebarnya (q).

Dapat diketahui dari analisa data sebelumnya bahwa nilai gerusan setempat sangat berpengaruh pada kedalaman gerusan dan kedalaman muka air, semakin besar nilai gerusannya, maka semakin besar penurunan material dasar sungai pada kaki bendung.

5. Kecepatan Aliran dengan Tegangan geser (τ)

Berdasarkan gambar grafik 4.6 menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran (V) dengan tegangan geser (τ), dimana pada saat kecepatan aliran (V) minimum 0,0668 memiliki nilai tegangan geser (τ) 0,1254 dan untuk kecepatan aliran (V) maksimum 0,2370 memiliki nilai tegangan geser (τ) 0,3334. Berdasarkan

gambar 4.6 memiliki kecenderungan semakin besar kecepatan aliran (V) maka semakin besar pula tegangan gesernya (τ).

Dari analisa data sebelumnya bahwa nilai debit aliran sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran pada kaki bendung yang menyebabkan penurunan material dasar sungai.

6. Gerusan (ds) per Tinggi Loncatan (ΔH) dengan bilangan Froude

Gambar grafik 4.7 menunjukkan hubungan antara gerusan (ds) per tinggi loncatan (ΔH) dimana pada saat gerusan (ds) per tinggi loncatan minimum sebesar 0,1431 memiliki bilangan froude 0,1974 dan untuk gerusan (ds) per tinggi loncatan (ΔH) maksimum 0,1695 memiliki nilai bilangan froude sebesar 0,2331. Berdasarkan gambar 4.7 memiliki kecenderungan semakin kecil Gerusan (ds) per Tinggi Loncatan (ΔH) maka semakin besar pula bilangan froudenya.

Dari analisa data didapat bahwa kecepatan sangat berpengaruh pada tinggi loncatan, energi dan penggerusan yang terjadi pada kaki bendung sehingga terjadi penurunan material dasar sungai.

7. Debit aliran (Q) dengan Kedalaman gerusan (ds).

Gambar grafik 4.8 menunjukkan hubungan antara debit aliran (Q) dengan kedalaman gerusan (ds), dimana pada saat debit aliran (Q) minimum sebesar 0,0038 memiliki nilai kedalaman gerusan sebesar 0,0252 dan debit aliran (Q) maksimum sebesar 0,0049 memiliki nilai kedalaman gerusan (ds) sebesar 0,0274. Berdasarkan gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa semakin besar debit aliran (Q) maka semakin besar pula kedalaman gerusannya.

Semakin besar nilai kecepatannya maka semakin besar penurunan material dasar sungai dan kedalaman air pada pada kaki bendung.

8. Kedalaman Gerusan (Q) dengan Bilangan Froude.

Gambar grafik 4.9 menunjukkan hubungan antara kedalaman gerusan (Q) dengan bilangan froude, dimana pada saat kedalaman gerusan (Q) minimum sebesar 0,0229 memiliki nilai bilangan froude 0,1974 dan kedalaman gerusan(Q) maksimum 0,0274 memiliki nilai bilangan froude 0,2331. Berdasarkan gambar 4.9 memiliki kecenderungan semakin kecil kedalaman gerusan (Q) maka semakin besar pula bilangan froudenya.

Dari analisa data dapat diketahui nilai kecepatan aliran sangat berpengaruh pada penggerusan di kaki bendung.

9. Kecepatan Aliran dengan Faktor Aliran.

Berdasarkan gambar grafik 4.11 menunjukkan hubungan antara kecepatan aliran (V) dengan faktor aliran ($ds1/\Delta H$), dimana pada saat kecepatan aliran minimum 0,0554 memiliki nilai faktor aliran 0,1496 dan untuk kecepatan aliran maksimum 0,2370 memiliki nilai faktor aliran 0,1541. Berdasarkan gambar 4.11 memiliki kecenderungan semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula faktor alirannya.

Maka dapat dikatakan bahwa nilai kedalaman gerusan setempat ($ds1$) sangat berpengaruh pada kedalaman gerusan dikaki bendung, artinya semakin besar kedalaman gerusan setempatnya maka semakin besar pula kemungkinan rusaknya bangunan kaki bendung tersebut.

10. Kecepatan Aliran dengan Faktor Aliran.

Berdasarkan gambar grafik 4.13 menunjukkan hubungan antara energi kinetik (E_k) per energi potensial (E_p) dengan bilangan froude (F), dimana pada saat energi kinetik per energi potensial (E_k/E_p) minimum 0,0006 memiliki nilai bilangan froude 0,1120 dan untuk energi kinetik per energi potensial (E_k/E_p) maksimum 0,0102 memiliki nilai bilangan froude 0,4478. Berdasarkan gambar 4.13 memiliki kecenderungan semakin besar bilangan froude yang terjadi maka semakin besar pula energi kinetik per energi potensial yang terjadi.

Maka dapat dikatakan bahwa nilai kecepatan (V) sangat berpengaruh pada energi dan bilangan froude yang terjadi dikaki bendung, artinya semakin besar kecepatan yang terjadi diakaki bendung maka semakin besar pula penggerusan setempat yang terjadi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan pada Penelitian tentang tegangan geser dan bilangan Froude terhadap penurunan material dasar sungai pada kaki bendung dengan uji laboratorium hidroulik. yang ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Sehingga dari analisa dan pembahasan pada Bab IV dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Faktor yang menyebabkan penurunan material dasar sungai pada kaki bendung yaitu terjadi karena kecepatan aliran yang besar.
2. Perubahan ketinggian air terjadi karena kecepatan, debit, energy dan bilangan Froude, yang menyebabkan penurunan material dasar sungai pada kaki bendung.
3. Semakin besar debit aliran (Q) yang terjadi maka semakin besar pula kedalaman air (y) dan gerusan (ds) yang terjadi dikaki bendung.
4. Semakin besar nilai gerusan setempat (*Local Scouring*) yang terjadi maka semakin besar pula kemungkinan rusaknya bangunan dikaki bendung.
5. Semakin besar kecepatan aliran yang terjadi maka semakin tinggi loncatan air dan terjadinya pusaran air (*Turbulensi*) yang mengakibatkan terjadinya gerusan setempat dikaki bendung
6. Semakin besar nilai kecepatan, debit dan energi yang terjadi maka akan berdampak pada penurunan dasar sungai pada kaki bendung.

5.2 Saran

Berdasarkan isi kesimpulan di atas, maka penulis memberikan beberapa saran untuk menghindari terjadinya penurunan material dasar sungai pada kaki bendung akibat dari tegangan geser dan bilangan Froude, sebagai berikut:

1. Harus adanya ketelitian dalam pelaksanaan pengukuran dan perhitungannya.
2. Diperlukan *kalibrasi* pada alat-alat percobaan yang akan dipergunakan, sehingga kondisi alat-alat dalam keadaan steril dari benda-benda yang akan mempengaruhi nilai atau data pengukuran pada objek penelitian.

3. Sebaiknya bendung dibuat peredam energi yang berfungsi untuk membendung air supaya tidak menimbulkan penurunan dasar sungai dikaki bendung yang bisa membahayakan struktur dari bendung tersebut.
4. Pembuatan perlindungan dasar sungai dengan rip-rap batu dan pembuatan ruang olakan tambahan pada lantai datar supaya tidak terjadi penurunan dasar sungai.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] E.V. Nensi Rosalina, M.Eng. Ven Te Chow, *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Edisi Ketiga. Penerbit Erlangga. 1985.
- [2] K. G. Ranga Raju, *Aliran Melalui Saluran Terbuka*. Diterjemahkan oleh Yan Piter Pangaribuan. Penerbit Erlangga. 1986.
- [3] Ir. M. Yusuf Gayo, dkk. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 1994.
- [4] Dr. Susyono Sosrodarsono – Kensaku Takeda. *Bendungan Type Urugan*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- [5] Ir. Soedibyo. *Teknik Bendungan*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta. 1993.
- [6] Ir. Herman Widodo Soemitro. Randal V. Giles, *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Edisi Kedua. Penerbit Erlangga. 1993.
- [7] Soedrajat S. *Mekanika Fluida*. Penerbit Nova. Bandung. 1983.
- [8] Ray K. Linsley, J.B. Franzini. *Teknik Sumber Daya Air*. Jilid I. Diterjemahkan oleh Djoko Sasongko. Penerbit Erlangga. Jakarta. 1991.