

**STUDI EKSPERIMENTAL BENDUNGAN
BUKAAN BAWAH UNTUK RETENSI BANJIR**

*THE EXPERIMENTAL DAM STUDY WITH BOTTOM OPENING
FOR FLOOD RETENSION*

MUH. HUSNI TAMRIN



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

**STUDI EKSPERIMENTAL BENDUNGAN
BUKAAN BAWAH UNTUK RETENSI BANJIR**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi
Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh

MUH. HUSNI TAMRIN

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

TESIS

STUDI EKSPERIMENTAL BENDUNGAN BUKAAN BAWAH UNTUK RETENSI BANJIR

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. HUSNI TAMRIN
P2301209013

Telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Tesis
Pada Tanggal 24 Oktober 2013
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat :

Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M.Sc
Ketua Penasihat

Ketua Program Studi
Teknik Sipil

Dr. Ir. Muh. Arsyad Thaha, MT
Anggota Penasihat

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin

Dr. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng

Prof. Dr.Ir. Mursalim, M.Sc

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muh. Husni Tamrin

NIM : P2301209013

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 24 Oktober 2013

Yang Menyatakan

Muh. Husni Tamrin

ABSTRAK

Muh. Husni Tamrin. ***Studi Eksperimental Bendungan Buka-an Bawah untuk Retensi Banjir.*** (dibimbing oleh **Mary Selintung** dan **Muhammad Arsyad Thaha**).

Masalah banjir terjadi karena adanya interaksi peristiwa alam serta campur tangan manusia di daerah pengaliran sungai. Permasalahan timbul karena kurangnya kesadaran masyarakat yang tinggal di sepanjang sungai dimana mereka sering memanfaatkan sungai sebagai tempat sampah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh efektivitas bendungan bukaan bawah dalam mereduksi debit banjir dan untuk menganalisa hubungan antara debit banjir (Q_{max}), diameter lubang (d) dan waktu pengaliran (t) dalam mereduksi banjir.

Penelitian ini bersifat eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sungai, Pusat Kegiatan Penelitian (PKP) Universitas Hasanuddin. Simulasi model fisik dilakukan pada 36 simulasi pengaliran. dibagi dalam 2 simulasi pengaliran, yang pertama tanpa bendungan bukaan bawah, yang kedua dengan bendungan bukaan bawah.

Hasil penelitian menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit banjir maksimum berbanding lurus dengan diameter lubang bendungan retensi, sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk pengeluaran debit banjir maksimum untuk kembali ke pengaliran debit normal berbanding terbalik dengan diameter lubang bendungan retensi. Pemasangan bendungan retensi dapat mereduksi banjir, yang mana semakin kecil diameter lubang, reduksi banjir semakin besar. Hal ini terlihat pada pemasangan bendung retensi dengan diameter 4,50 cm dapat mereduksi banjir mencapai 50 %, diameter 5,50 cm dapat mereduksi banjir sebesar 30 % - 35 % dan pemasangan bendungan retensi dengan diameter lubang 6,50 cm dapat mereduksi debit banjir sebesar 25% - 30%.

ABSTRACT

Muh. Husni Tamrin. ***The Experimental Dam Study with Bottom Opening for Flood Retention***. (Supervised by **Mary Selintung** and **Muhammad Arsyad Thaha**).

Flooding problems occur due to the interaction of natural events and human intervention in the drainage area of the river. The problems arise because of lack of awareness of the people who live along the river where they often use the river as a trash can. This study aims to assess the effectiveness influence of the dam bottom-openings in reducing flood discharge and to analyze the relationship between flood discharge (Q_{max}), the hole diameter (d) and the drainage time (t) in reducing flooding.

This experimental study is conducted in River Engineering Laboratory, Center for Research Activities (PKP) Hasanuddin University. Physical model simulations performed in 36 simulated drainage and divided into two drainage simulation: First is without dam bottom-openings, and the second is with dam bottom-openings.

The results showed that the required time to reach the maximum flood discharge is directly proportional to the diameter of the dam retention's hole, whereas the required time for the maximum flood discharge expenses to return to normal drainage of discharge is inversely proportional to the diameter of the dam retention's hole. The Installation of dam retention can reduce flood, which is the smaller diameter of the hole, the greater reduction of flooding will happen. This can be seen in the installation of dam retention with 4,50 cm diameter could reduce the flooding reaches by 50%, and 5,50 cm diameter could reduce flooding by 30% - 35% and the installation of dam retention with the hole diameter 6,50 cm can be reduced flood discharge by 25% - 30%.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat merampungkan tesis yang berjudul **“Studi Eksperimental Bendungan Bukaan Bawah untuk Retensi Banjir”**. Tesis ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi di Program Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Keairan.

Kerinduan penulis untuk memberikan yang terbaik sesuai dengan ilmu dan kemampuan dalam penulisan tesis ini, namun menyadari segala kekurangan-kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki serta hambatan dan kendala yang dihadapi sehingga tesis ini belum sempurna. Kritik dan saran yang membangun penulis sangat harapkan guna penyempurnaan penulisan-penulisan ilmiah selanjutnya.

Penulis dalam menyusun tesis ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak baik dalam bentuk arahan, dukungan, bantuan, dan semangat. Karena itu, dari hati yang paling dalam penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan penulis kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Mary Selintung, M. Sc dan Dr. Ir. M. Arsyad Thaha, MT selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk mencurahkan perhatian, tenaga, serta dorongan kepada penulis hingga selesainya tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M. Eng., Ir. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc, Ph.D dan Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT., selaku Dewan Penguji.

3. Dr. Rudy Djamaluddin, ST.M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar para dosen dan staff yang telah membantu penulis selama mengikuti pendidikan pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar,
4. Orang tua penulis Ayahanda Bapak Hasanuddin dan Ibunda tercinta Ibu Kalsum yang telah mengasuh, membesarkan, melindungi, dan membimbing serta memenuhi segala kebutuhan anakda dalam penyelesaian studi. Juga teruntuk kakak-kakakku dan adikku yang selalu memberikan dukungan dan dorongan dalam menyelesaikan studi.
5. Sahabat dan teman-teman kuliah angkatan 2009 (Kak Hasdar, Kak Achmad Rusdi, Syahrul, Kak Ridha, Kak Jeni, Kak Nila, Suci, Hadir Alamsyah, Pak Nusbih, Imran) yang telah bersama dan memberikan dukungan, semangat, serta persahabatan yang baik selama berkuliah di Program Pascasarjana.

Akhir kata terima kasih kepada semua yang sudah membantu dan semoga penelitian ini dapat bermanfaat serta turut memberikan sumbangsih kepada pengembangan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Makassar, Oktober 2013

Muh. Husni Tamrin

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	4
E. Batasan Masalah	4
F. Sistematika Penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Hasil Penelitian sebelumnya	6
B. Penyebab Terjadinya Banjir	9
C. Pengendalian Banjir	12
D. Penelusuran Banjir	13
E. Prinsip Penelusuran Hidrologi	17
F. Analisis Banjir Rancangan	19
G. Lubang Terendam	20
H. Aliran pada Saluran Terbuka	24
I. Rancangan Model	27
J. Bilangan Tak Berdimensi	31
K. Kerangka Pikir	32

BAB III METODE PENELITIAN

A. Umum	33
B. Tempat dan Waktu Penelitian	33
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	33
D. Bahan dan Alat	34
E. Perancangan Model	36
F. Variabel yang Diteliti	36
G. Simulasi Penelitian	37
H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium	38

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	40
B. Pembahasan	52

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	64
B. Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

nomor	halaman
1. Penelitian sebelumnya	9
2. Variasi penelitian	39
3. Ketinggian aliran untuk $Q_1 = 5617 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $D_1 = 4,5 \text{ cm}$	41
4. Kecepatan aliran Untuk $Q_1 = 5617 \text{ cm}^3/\text{detik}$, $D_1 = 4,5 \text{ cm}$	42
5. Volume tampungan ($Q_1 = 5.617,50 \text{ cm}^3/\text{det}$)	43
6. Penelusuran banjir tanpa pemasangan bendungan bukaan bawah	44
7. Penelusuran banjir saluran dengan pemasangan bendungan bukaan bawah dengan lubang $D_1 = 4,5 \text{ cm}$	46
8. Penelusuran banjir saluran tanpa pemasangan bendungan bukaan bawah dengan lubang $D_2 = 5,5 \text{ cm}$	48
9. Penelusuran banjir saluran tanpa pemasangan bendungan bukaan bawah dengan lubang $D_3 = 6,5 \text{ cm}$	50
10. Penentuan nilai α , β dan τ	61
11. Penentuan bilangan tak berdimensi	62

DAFTAR GAMBAR

nomor	halaman
1. Hubungan antara aliran masuk, aliran keluar dan penyimpanan dalam ruas saluran yang disebabkan oleh banjir	18
2. Lubang terendam	21
3. Lubang besar	22
4. Aliran melalui lubang terendam dan terendam sebagian	24
5. Kerangka pikir penelitian	32
6. <i>Flume</i> saluran dan peralatan pengamatan	35
7. Rancangan model	36
8. Diagram proses penelitian laboratorium	38
9. Grafik penulusuran banjir tanpa bendungan	46
10. Penelusuran banjir dengan pemasangan bendungan bukaan bawah dengan diameter lubang $D_1 = 4,50$ cm	47
11. Penelusuran banjir dengan pemasangan bendungan bukaan bawah dengan diameter lubang $D_2 = 5,50$ cm	49
12. Penelusuran banjir dengan pemasangan bendungan bukaan bawah dengan diameter lubang $D_3 = 6,50$ cm	51
13. Grafik hubungan antara diameter lubang bendung bukaan bawah dengan debit banjir maksimum yang terjadi	53
14. Grafik hubungan antara diameter lubang bendungan bukaan bawah dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit banjir maksimum	55
15. Grafik hubungan antara diameter lubang bendung bukaan bawah dengan waktu yang dibutuhkan dari debit puncak kembali ke debit normal	58

16. Grafik hubungan antara diameter lubang bendungan bukaan bawah dengan persentase pengurangan debit banjir maksimum (reduksi banjir) 59
17. Hubungan $\frac{Q_{\max} \cdot d}{t_n^{3,5} \cdot g^4}$ terhadap $\frac{\Delta Q}{t_n^{2,5} \cdot g^3}$ 63

DAFTAR LAMPIRAN

nomor	halaman
1. Dokumentasi penelitian	67
2. Hasil penelitian di laboratorium	70
3. Volume tampungan	71

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Δt	:	Periode penelusuran (detik, jam, atau hari),
ψ_1	:	Keadaan pada saat permulaan penelusuran,
φ_2	:	Keadaan pada saat akhir penelusuran,
A	:	Luas profil aliran (m^2)
B	:	Panjang ambang pelimpah (m)
C	:	Koefisien debit (diperkirakan 1,7 – 2,2 m/dtk)
D	:	Diameter lubang
ds	:	Besarnya tampungan / storage (m^3),
dt	:	Periode penelusuran (detik).
f_2	:	Koefisien kehilangan (tergantung bentuk inlet)
f	:	Koefisien geseran
fc	:	Koefisien kehilangan tinggi akibat perubahan penampang
fb	:	Koefisien kehilangan energi akibat adanya belokan
fo	:	Koefisien energi (tergantung bentuk outlet)
g	:	Percepatan gravitasi
h	:	Kedalaman aliran
h1	:	Tinggi muka air di hulu
h2	:	Tinggi aliran di hilir
h_p	:	Ukuran tinggi pada prototipe
h_m	:	Ukuran tinggi pada model
I	:	Debit yang masuk pada waduk (m^3 / dt),
I_1	:	debit yang masuk di atas debit yang dicari (m^3/dt),

I_2	:	debit masuk yang dicari (m^3/dt),
L	:	Panjang terowongan (m)
L_p	:	Ukuran panjang prototipe
L_m	:	Ukuran panjang model
n	:	Angka kekasaran
n_L	:	Skala panjang
n_h	:	Skala tinggi
p	:	Prototipe
P	:	Keliling basah
Q	:	Debit airan
Q_{max}	:	Debit Maksimum
R	:	Jari-jari hidrolis (m)
S	:	Kemiringan/slope
V	:	Kecepatan aliran

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai merupakan tempat-tempat jaringan pengaliran air dari mata air sampai dengan muara. Sepanjang pengaliran kanan dan kirinya dibatasi dengan garis sempadan. Pada musim hujan, jika sungai tidak dipelihara dengan baik akan mengakibatkan banjir, sehingga merugikan daerah sekitarnya. Banjir timbul dikarenakan alur sungai tidak memiliki kapasitas cukup bagi debit aliran yang lewat.

Masalah banjir terjadi karena adanya interaksi peristiwa alam serta campur tangan manusia di daerah pengaliran sungai. Permasalahan timbul karena kurangnya kesadaran masyarakat yang tinggal di sepanjang sungai dimana mereka sering memanfaatkan sungai sebagai tempat sampah, adanya penebangan hutan secara liar, penyempitan palung sungai akibat adanya pemukiman di sepanjang sungai dan terbatasnya kegiatan pemeliharaan prasarana pengendalian banjir.

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia dilanda berbagai bencana alam akibat perubahan cuaca/iklim global, yang ditandai seringnya banjir, kekeringan, tanah longsor serta kebakaran hutan dan lahan. Salah satu fenomena alam yang menimbulkan kerugian besar adalah bencana banjir. Fenomena banjir tidak dapat terlepas dari siklus hidrologi yang terjadi di dunia. Perjalanan air di bumi terjadi dalam suatu wadah yang disebut daerah

aliran sungai (DAS). Di dalam sistem DAS, fenomena banjir merupakan dampak negatif yang terjadi di bagian hilir DAS akibat buruknya pengelolaan di daerah hulu. Dalam suatu DAS, terdapat hubungan sebab akibat antara bagian hulu dan hilir DAS. Pengelolaan yang dilakukan di hulu akan memberikan dampak pada wilayah hilir. DAS sendiri dapat dianggap sebagai suatu prosesor, dengan *input* berupa air hujan serta *output* berupa hasil air (debit air limpasan) di wilayah hilir. Agar keluaran yang dihasilkan baik, maka di dalam DAS perlu dilakukan upaya pengelolaan.

Salah satu cara untuk pengendalian debit banjir dengan membangun suatu Bendungan. Bendungan adalah tembok yang dibangun melintasi sebuah sungai. Bendungan dapat dibuat dari tanah, batu, atau beton. Struktur ini menghambat aliran sungai, sehingga menciptakan danau buatan yang dinamakan waduk. Air yang ditampung dalam waduk dapat digunakan untuk membangkitkan listrik, untuk menyediakan air untuk irigasi dan minum, dan untuk membantu pergerakan perahu, mengendalikan banjir dan untuk rekreasi.

Bendungan retensi berfungsi untuk menyimpan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi dan untuk menggantikan peran lahan resapan yang dijadikan lahan tertutup, perumahan dan perkantoran. Pada umumnya, bendungan biasanya menggunakan spillway untuk mengalirkan kelebihan debit air di bendungan, pada penelitian ini bendungan menggunakan bukaan bawah/dasar untuk menahan kelebihan air dan mengalirkannya secara terkontrol yang keluar dari lubang konduit pada periode dengan curah hujan tinggi yang berpotensi menimbulkan banjir.

Bendungan bukaan bawah diletakkan pada hulu sungai untuk mengontrol banjir yang terjadi di hilir sungai dan merupakan salah satu jalan keluar untuk permasalahan banjir pada saat debit puncak terjadi, maka penulis mengambil judul **Studi Eksperimental Bendungan Bukaan Bawah untuk Retensi Banjir.**

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dimensi lubang *conduit* bendungan bukaan bawah terhadap reduksi debit banjir.
2. Pengaruh bendungan bukaan bawah terhadap waktu pengaliran debit banjir

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk :

1. Mengkaji pengaruh bendungan bukaan bawah dalam mereduksi debit banjir.
2. Menganalisa hubungan antara debit banjir, diameter lubang dan waktu pengaliran dalam mereduksi banjir.

D. Manfaat Penelitian

Diharapkan dengan selesainya penelitian dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif dalam mengatasi permasalahan banjir di daerah hilir dan memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dalam teknik sungai.

E. Batasan masalah

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian cukup dibatasi pada :

1. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tawar.
2. Tidak meninjau struktur dan stabilitas bendungan.
3. Saluran terbuat dari campuran semen dan pasir.
4. Bendungan terbuat dari pasangan bata, dengan menggunakan lubang *conduit* pipa PVC.
5. Skala sungai yang digunakan 1:100.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tesis ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatarbelakangi penelitian ini, dilanjutkan dengan uraian rumusan masalah, tujuan

penelitian, kegunaan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta metode analisisnya secara terperinci.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini menjelaskan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh. Sedangkan pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai tujuan penelitian.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini dikemukakan kesimpulan dari seluruh rangkaian proses penelitian dan saran-saran terkait dengan kekurangan yang didapati dalam penelitian ini, sehingga nantinya dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Hasil Penelitian Sebelumnya

Banjir merupakan permasalahan yang selalu terjadi setiap tahun. Upaya penanggulangan dan pengendalian banjir tidak akan pernah dapat menghilangkan banjir sama sekali, tetapi harus dilakukan karena untuk mengurangi besaran banjir dan mengurangi dampak kerugian manusia maupun infrastrukturnya. Banjir biasanya dianggap sebagai kenaikan tinggi permukaan air sungai yang melebihi keadaan normal atau meluapnya air melewati batas kapasitas saluran yang normal. Penelitian mengenai pengendalian debit banjir, sudah sangat banyak dilakukan di Indonesia. Berikut ini beberapa penelitian tentang pengendalian banjir.

Suseno Darsono dkk (2008) penelitian ini mengkaji tentang efisiensi pendistribusian banjir dengan menyusun konsep "*Flood Distribution Management*" di DAS perkotaan (*Urban Rivers*) sehingga dapat dijadikan acuan dalam memecahkan permasalahan sungai perkotaan. Daerah Aliran Sungai Ciliwung dijadikan lokasi uji coba atau studi kasus penyusunan konsep "*Flood Distribution Management*". Software yang di gunakan sebagai alat bantu didalam penelitian ini adalah HECHMS dan HECRAS, yang merupakan publik software. HECHMS adalah model hidrologi, sedang HECRAS adalah model hidrolika satu dimensi. Hasil penelitian menunjukkan pengendalian banjir terpadu adalah konsep yang paling cocok untuk

pengendalian banjir sungai perkotaan seperti Ciliwung. Cara pengendalian banjir non-fisik sangat diperlukan untuk mengatasi banjir sungai perkotaan dan keseimbangan hulu-hilir, dimana sistem distribusi banjir (*Flood Distribution*) merupakan bagiannya.

Rusmin Anwar (2009) mengkaji penentuan koefisien aliran permukaan menggunakan tabel, dalam penentuan debit banjir terkadang menimbulkan keraguan, karena belum tentu cocok diterapkan pada setiap daerah aliran sungai (DAS). Kondisi ini menuntut usaha pengembangan model pendugaan debit banjir yang dapat memenuhi kondisi fisik DAS. Apalagi jika dikaitkan dengan usaha pengendalian banjir pada DAS tersebut. Oleh karena itu, perlu diteliti penentuan karakteristik fisik DAS yang berpengaruh terhadap koefisien aliran permukaan, menyusun bentuk hubungan karakteristik bentuk hubungan karakteristik fisik DAS dan koefisien aliran permukaan. Penelitian ini menemukan karakteristik fisik DAS Bango (anak Sungai Brantas) yang berpengaruh terhadap koefisien aliran permukaan adalah rasio percabangan sungai, kemiringan rerata DAS, kerapatan drainase, indeks Gravelius, panjang sungai utama, dan faktor penggunaan lahan. Peramalan banjir rencana dan alokasi luas jenis penggunaan lahan setiap sub DAS pada DAS Bango yang didasarkan pada karakteristik fisik DAS memberikan pengaruh nyata terhadap keseimbangan tata air pada DAS Bango, yang ditunjukkan dengan penurunan debit banjir hasil optimasi terhadap debit banjir rencana kondisi existing sehingga dapat digunakan sebagai landasan pengendalian banjir.

Zulkarnain (2011) mengevaluasi kondisi umum masalah banjir di kota Tebing Tinggi akibat seringnya air meluap di Sungai Padang Kota Tebing Tinggi. Oleh karena itu dibuat salah satu solusi penanggulangan masalah banjir dengan mengevaluasi tinggi tanggul Sungai Padang Tebing Tinggi. Diharapkan dengan perencanaan tinggi tanggul yang sesuai dengan debit banjir maksimum Sungai Padang maka banjir yang selalu terjadi di kota Tebing Tinggi dapat diminimalisasi secara perlahan.

Di dalam studi kasus tentang permasalahan banjir Sungai Padang Kota Tebing Tinggi ini diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder yang berkenaan dengan lokasi serta inventarisasi data curah hujan dan data kondisi eksisting sungai. Selanjutnya dilakukan analisa frekuensi curah hujan dan dilakukan perhitungan debit banjir rencana dengan metode *Mean Annual Flood*, Melchior dan Haspers.

Dari hasil analisa debit banjir rancangan, untuk merencanakan tanggul banjir digunakan debit banjir kala ulang 25 tahun dengan metode *Mean Annual Flood* diperoleh $Q_{25} = 335,792 \text{ m}^3/\text{detik}$, sedangkan kombinasi metode Melchior-Log Pearson III $Q_{25} = 450,197 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan kombinasi metode Melchior-Haspers $Q_{25} = 519,971 \text{ m}^3/\text{detik}$, kombinasi metode Haspers-Log Pearson III $Q_{25} = 1.280,405 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan kombinasi Haspers-Haspers $Q_{25} = 1.478,847 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hasil perhitungan dengan menggunakan *standard step method* menunjukkan bahwa terjadi penambahan elevasi muka air banjir yang sudah tidak mampu lagi untuk ditampung oleh Sungai Padang.

Tabel 1. Penelitian sebelumnya

Nama	Judul	Hasil Penelitian	Keterangan
Suseno Darsono (2008)	Konsep " <i>Flood Distribution Management</i> ".	Pengendalian banjir terpadu adalah konsep yang paling cocok untuk pengendalian banjir sungai perkotaan seperti sungai ciliwung	Pengendalian banjir non-fisik sungai diperlukan untuk mengatasi banjir sungai perkotaan dan keseimbangan hulu-hilir
Rusmin Anwar (2009)	Model Koefisien Aliran Permukaan Menggunakan Pendekatan Karakteristik Fisik DAS pada DAS Bango	Penelitian ini menemukan karakteristik fisik DAS Bango (anak Sungai Brantas) yang berpengaruh terhadap koefisien aliran permukaan	Penurunan debit banjir hasil optimasi terhadap debit banjir rencana kondisi existing dapat digunakan sebagai landasan pengendalian banjir
Zulkarnain (2011)	Evaluasi Pengendalian Banjir Sungai Padang	Untuk merencanakan tanggul banjir digunakan debit banjir kala ulang 25 tahun dengan metode <i>Mean Annual Flood</i>	Terjadi penambahan elevasi muka air banjir yang sudah tidak mampu lagi untuk ditampung oleh Sungai Padang

B. Penyebab Terjadinya Banjir

Banyak faktor yang bisa menjadi penyebab banjir, misalnya curah hujan yang tinggi, kapasitas alur sungai yang tidak mencukupi, adanya

endapan sedimen (delta) di muara sungai, atau karena daerah banjir yang memang merupakan daerah dataran rendah, dan lain-lain. Untuk mengatasi permasalahan banjir yang sesungguhnya perlu diketahui secara pasti faktor-faktor yang menjadi penyebab terjadinya banjir. Dengan demikian, upaya pengendalian banjir pada suatu wilayah bisa berbeda dengan wilayah yang lain. Beberapa penyebab utama terjadinya banjir antara lain adalah:

1. Pendangkalan/agradasi dasar sungai (sedimentasi)

Hampir semua sungai membawa sedimen dalam jumlah yang banyak dari hulunya dan mengikis lahan di DAS-nya sampai ke muara. Di daerah muara, kemiringan dasar sungai menjadi relatif datar akibat endapan pasir dan material-material yang lain, sehingga kapasitas tampungan sungainya menjadi berkurang. Di penambangan pasir di sungai-sangat besar sehingga di beberapa tempat degradasi dasar sungai banyak di jumpai. Namun di sisi lain, permasalahan sedimentasi juga banyak terjadi, terutama pada sungai-sungai di bagian hilir.

2. Meluapnya aliran sungai melalui tanggul

Di daerah pantai/muara, meluapnya air sungai dari tanggul yang ada sering terjadi selama musim penghujan. Meluapnya aliran sungai ini mengakibatkan tergenangnya daerah-daerah yang relatif datar dan lahan-lahan pertanian di sekitarnya. Penyebab meluapnya aliran sungai ini sangat banyak, tetapi yang paling besar kontribusinya adalah sebagai berikut ini :

- a. Kemiringan sungai yang relatif datar.
- b. Adanya sedimentasi/pendangkalan sungai,

- c. Bertambahnya debit sungai dan material sedimen yang terbawa akibat terjadinya perubahan kondisi di hilir.

Tanggul-tanggul yang telah dibangun di sebagian besar sungai tidak cukup tinggi untuk menampung debit banjir yang terjadi. Selain itu kondisi tanggul yang buruk karena tidak memadainya pemeliharaan tanggul yang dilakukan. Tanggul-tanggul sungai di hulu memang dapat mengurangi banjir-banjir yang terjadi di daerah hulu, akan tetapi, di sisi lain justru dapat menyebabkan bertambahnya luasnya area yang terkena banjir di daerah hilir.

3. Kondisi saluran drainase yang kurang baik

Beberapa permasalahan yang menjadi penyebab drainase yang tidak lancar sebagai berikut ini :

- a. Tidak berfungsinya pintu-pintu air sebagaimana mestinya,
 - b. Kapasitas tampungan yang tidak memadai dari saluran drainase dan sungai-sungai. Beberapa dari sungai-sungai digunakan untuk lahan pertanian,
 - c. Lahan pertanian produktif selalu berada di depression area di titik terendah dari dataran pantai (tidak terlalu jauh dari muara), lokasi ini umumnya terendam banjir selama terjadi hujan lokal dan tingginya muka air selama musim hujan.
- ### 4. Efek dari *backwater* pada daerah-daerah penyempitan dan elevasi hilir sungai yang lebih tinggi.

Penyempitan pada sungai bisa disebabkan oleh tertutupnya muara sungai pada awal musim hujan dan karena penyempitan pada jembatan dan bangunan-bangunan struktur lainnya. Penyempitan ini bisa menyebabkan banjir di hulu karena dampak dari *backwater*. *Backwater* juga bisa terjadi pada pertemuan antara anak sungai dan sungai utamanya. Naiknya muka air dapat menyebabkan meluapnya aliran sungai dan menggenangi lahan pertanian disekitarnya. Yang perlu diperhatikan adalah bahwa akibat dari *backwater* dapat memperpanjang besarnya jarak penyempitan di hulu. Misalkan, penutupan muara sungai dapat memperpanjang aliran di beberapa anak sungai di daerah dataran banjir.

5. Kurang berfungsinya pintu pengendali banjir pada sungai

Pintu air sangat sering tidak bisa berfungsi sebagaimana mestinya karena tertutup oleh tanaman atau endapan pasir. Masalah ini lebih sering terjadi pada pintu air otomatis, karena operasionalnya secara otomatis maka pengamatan/pemeliharaan di lapangan jarang dilakukan.

C. Pengendalian Banjir

Kegiatan yang dilaksanakan sebelum banjir terjadi disebut kegiatan pengendalian banjir. Pengendalian banjir untuk suatu daerah dengan daerah lain belum tentu sama. Tindakan-tindakan yang dapat dilakukan untuk pengendalian banjir antara lain :

- a. Pengurangan puncak banjir, yang pada umumnya dengan membuat waduk (*reservoir*).

- b. Lokalisir aliran banjir di dalam suatu alur sungai yang ditetapkan dengan tanggul, tembok banjir, atau suatu saluran tertutup.
- c. Penurunan permukaan puncak banjir dengan menaikkan besarnya kecepatan, yaitu dengan perbaikan alur.
- d. Pengalihan air banjir melalui sudetan (*short cut*) atau saluran banjir (*flood way*) ke dalam alur sungai lain atau bahkan ke daerah aliran sungai lain.
- e. Pengurangan limpasan banjir dengan pengolahan lahan.
- f. Pengolahan dataran banjir.

D. Penelusuran Banjir

Penelusuran banjir adalah peramalan hidrograf disuatu titik pada suatu aliran (bagian) sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf dititik lain. Penelusuran banjir ada 2 macam, yaitu lewat alur sungai dan lewat waduk/Dam.

Sedangkan penelusuran banjir bertujuan untuk : (1) Peramalan banjir jangka pendek; (2) Analisa hidrograf satuan untuk berbagai titik sepanjang sungai dari hidrograf satuan disuatu titik pada sungai tersebut dan (3) Peramalan terhadap kelakuan sungai setelah terjadi perubahan keadaan dalam alur sungai.

1. Penelusuran banjir lewat alur sungai

Salah satu metode untuk analisis penelusuran banjir lewat alur sungai adalah dengan metode Muskingum. Metode ini mempunyai batasan

sebagai berikut (1) tidak boleh ada percabangan di sungai dan (2) penambahan atau kehilangan air akibat curah hujan, air tanah dan evaporasi diabaikan. Persamaan dasar yang dipakai adalah persamaan kontinuitas :

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \quad (1)$$

Dimana :

I = debit yang masuk pada waduk (m^3 / dt),

Q = debit yang keluar melalui pelimpah (m^3/dt),

ds = besarnya tampungan / *storage* (m^3),

dt = periode penelusuran (detik).

$$\text{Jika } dt = \Delta t \quad \longrightarrow \quad I = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (2)$$

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (3)$$

$$ds = S_2 - S_1 \quad (4)$$

2. Penelusuran banjir lewat waduk

Metode analisis penelusuran banjir lewat waduk dapat dilakukan dengan rumus kontinuitas, yaitu:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} \Delta t + \left(S_1 - \frac{Q_1}{2} \Delta t \right) = \left(S_2 + \frac{Q_2}{2} \Delta t \right) \quad (5)$$

Atau

$$\frac{I_1 + I_2}{2} + \left(\frac{S_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} \right) = \left(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{Q_2}{2} \right) \quad (6)$$

Jika

$$\frac{S_1}{\Delta t} - \frac{Q_1}{2} = \psi_1, \text{ dan} \quad (7)$$

$$\frac{S_2}{\Delta t} - \frac{Q_2}{2} = \varphi_2 \quad (8)$$

Maka persamaan diatas bisa ditulis :

$$\frac{I_1+I_2}{2} + \psi_1 = \varphi_2 \quad (9)$$

dimana :

I_1 = debit yang masuk di atas debit yang dicari (m^3/dt),

I_2 = debit masuk yang dicari (m^3/dt),

Q = debit yang keluar dari waduk (m^3/dt),

ψ_1 = keadaan pada saat permulaan penelusuran,

φ_2 = keadaan pada saat akhir penelusuran,

Δt = periode penelusuran (detik, jam, atau hari),

S = besarnya tampungan / *storage* waduk (m^3)

1. Untuk pelimpah

$$Q = C.B. H^{3/2} \quad (10)$$

Dengan :

C =Koefisien debit (diperkirakan 1,7 – 2,2 m/dtk)

B = panjang ambang pelimpah (m)

H = tinggi energi diambang atas (m)

$$= h + \frac{v^2}{2.g} \quad (11)$$

2. Untuk terowongan

a) Saat terowong belum terisi penuh

$$Q = V.A \quad (12)$$

Dimana :

V = kecepatan air dalam terowongan (m/detik)

$$= \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \text{ (rumus Manning)} \quad (13)$$

n = Angka kekasaran

R = Jari-jari hidrolis (m)

$$= A/P \quad (14)$$

A = Luas profil aliran (m²)

P = keliling basah profil (m)

S = kemiringan alur terowongan

b) Saat terowongan terisi penuh :

$$Q = V.A \quad (15)$$

Dengan :

$$V = \left\{ \frac{2gH}{\Sigma f} \right\}^{1/2} \quad (16)$$

$$H = \left(f_2 + f \frac{L}{D} + f_c + f_b + f_o \right) \frac{v^2}{2g} \quad (17)$$

$$= \Sigma f \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (18)$$

Dimana :

f_2 = koefisien kehilangan (tergantung bentuk inlet)

f = koefisien geseran

L = panjang terowongan

D = diameter terowongan

f_c = koefisien kehilangan tinggi akibat perubahan penampang

f_b = koefisien kehilangan energi akibat adanya belokan

f_o = koefisien energi (tergantung bentuk outlet)

E. Prinsip Penelusuran Hidrologi

Bila suatu gelombang banjir melewati ruas saluran, hidrograf aliran masuk dan aliran keluar, masing-masing pada ujung arah hulu dan hilir dari ruas, ditunjukkan pada gambar a. Dengan menganggap bahwa besarnya kehilangan atau penguatan air aliran yang melalui ruas diabaikan, maka luas total daerah dibawah hidrograf akan sama, karena volume air banjir tidak mengalami perubahan. Pada arus alamiah, hambatan saluran dan kapasitas penyimpanan sangat besar, sehingga karakteristik gelombang banjir akan mengalami modifikasi.

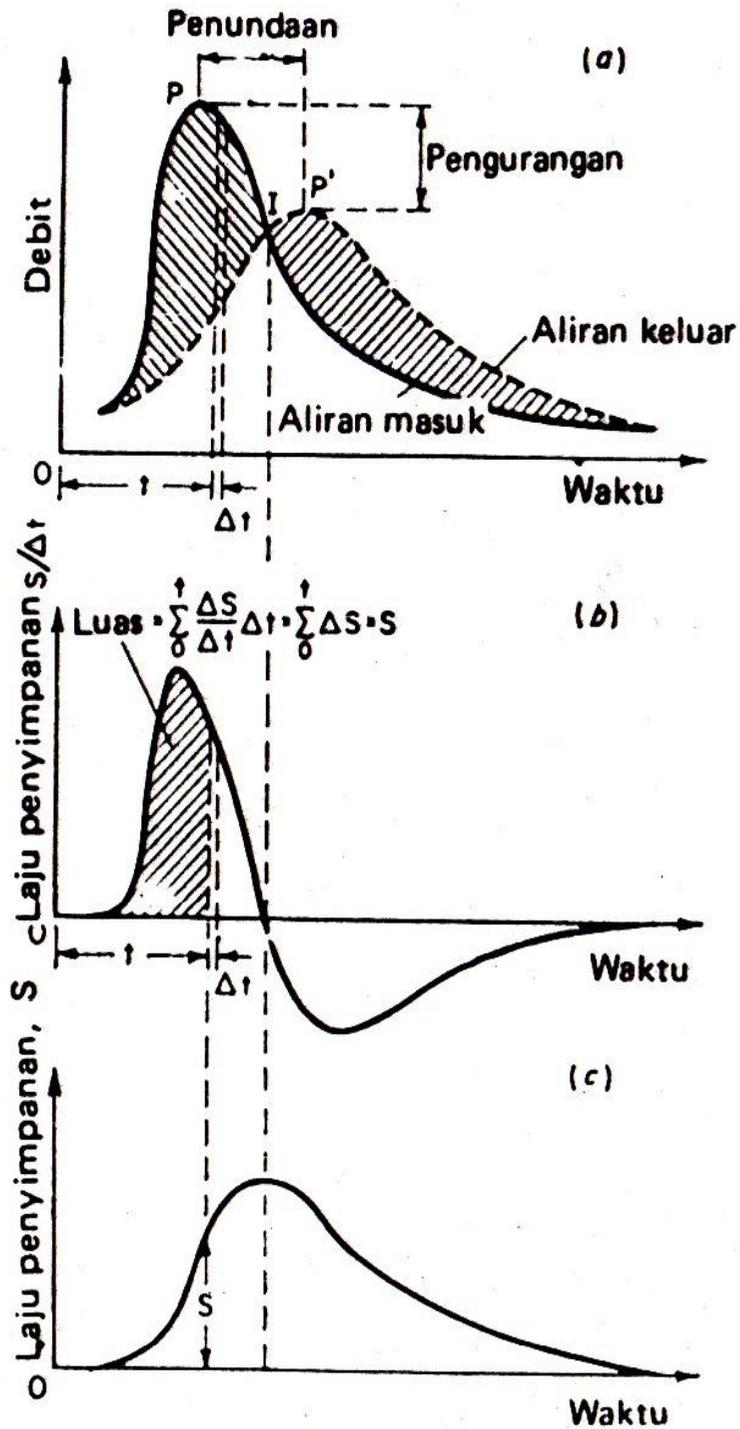
Gambar 5 b, memperlihatkan adanya penurunan dan penundaan puncak banjir. Perbedaan antara ordinat hidrograf aliran masuk dan aliran keluar dinyatakan dengan luas daerah bergaris pada gambar. Luas ini sama dengan laju penyimpanan air pada ruas, yaitu :

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I - Q \quad (19)$$

Dengan $\Delta S/\Delta t$ = perubahan penyimpanan selama waktu Δt

I = aliran masuk rata-rata selama Δt , dan

Q = aliran keluar rata-rata selama Δt



Gambar 1. Hubungan antara aliran masuk, aliran keluar dan penyimpanan dalam ruas saluran yang disebabkan oleh banjir.

Nilai $\Delta S/\Delta t$ positif bila penyimpanan bertambah dan negatif bila penyimpanan berkurang. Persamaan diatas mengandung dasar-dasar untuk prosedur penelusuran banjir secara hidrologi, dimana Δt merupakan periode penelusuran.

Laju penyimpanan dipetakan terhadap waktu, seperti yang terlihat pada gambar 1 b. Dimana dari gambar itu terlihat bahwa simpanan meningkat sebelum waktu pada mana aliran masuk sama dengan aliran keluar tercapai. Luas kumulatif dibawah kurva laju penyimpanan (luas berarsir) menunjukkan volume simpanan dapat diperoleh, seperti dapat ditunjukkan pada gambar 1 c. Kurva ini mempunyai puncak yang menyatakan volume maksimum penyimpanan yang menyatakan volume maksimum penyimpanan yang akan terjadi bila aliran masuk sama dengan aliran yang keluar.

F. Analisis Banjir Rancangan

Banjir rancangan (*design flood*) adalah besaran debit yang secara statistik akan disamai atau dilampaui sekali dalam kala ulang tertentu. Sebagai contoh : Q5, Q10, Q25, Q 100 (banjir rancangan 100 tahun) artinya debit secara statistik akan terjadi sekali dalam 100 tahun dengan peluang kejadian tiap tahun 1/100.

Kala ulang (*return period*) merupakan waktu hipotetik, yang mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam waktu tertentu. Jadi tidak ada pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut.

Ada dua jenis data yang secara umum bias dipakai untuk menentukan banjir rancangan, yaitu data debit dan data hujan. Masing-masing data yang dipakai mempunyai spesifikasi baik mengenai input, output maupun proses yang dipakai.

1. Data debit

- a. Input data berupa data debit maksimum tahunan (Q Maks tahunan)
- b. Output berupa debit puncak banjir (Q_p) dan non hidrograf (tapi bias dilakukan pendekatan dengan hidrograf segitiga)
- c. Proses analisa data menggunakan analisa frekuensi (Metode Gumbel, Metode Log Person III, dan lain-lain)

2. Data Hujan

- a. Input data berupa hujan rancangan dan data hujan jam-jaman; hujan rancangan dianalisa dari data hujan daerah harian maksimal tahunan yang diproses dengan analisa frekuensi (Metode Gumbel, Metode Log Person III, dan lain-lain)
- b. Output berupa hidrograf dan debit puncak banjir.
- c. Proses analisa data hujan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) seperti HSS Nakayasu, HSS Snyder, HSS Gama I, HSS Limantara.

G. Lubang Terendam

Apabila permukaan zat cair sebelah hilir lubang keluar adalah di atas sisi atas lubang, maka lubang disebut terendam. Gambar 2 menunjukkan lubang terendam di mana elevasi permukaan zat cair di sebelah hulu dan

hilir terhadap sumbu lubang adalah H_1 dan H_2 . Dengan menggunakan persamaan Bernoulli antara titik 1 dan 2 yang berada pada sumbu lubang, maka :

$$z_1 + \frac{\rho_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{\rho_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (20)$$

Oleh karena :

$$z_1 = z_2, \quad V_1 = 0,$$

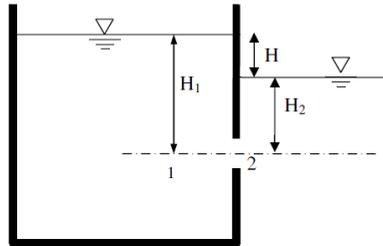
$$\frac{\rho_1}{\gamma} = H_1, \text{ dan } \frac{\rho_2}{\gamma} = H_2$$

Maka :

$$H_1 + 0 = H_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (21)$$

Atau :

$$V_2 = \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (22)$$



Gambar 2. Lubang terendam

Debit nyata aliran melalui lubang adalah :

$$Q = Cd. a \sqrt{2g(H_1 - H_2)} \quad (23)$$

Atau

$$Q = Cd. a \sqrt{2gH} \quad (24)$$

Dengan :

C_d : koefisien debit

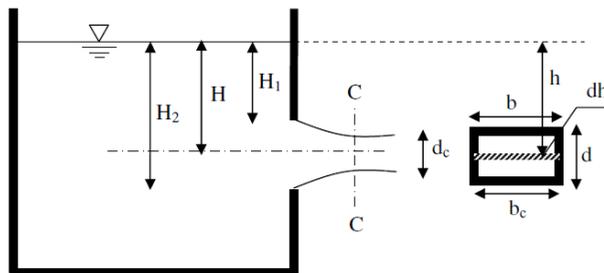
a : luas tampang lubang

H : selisih elevasi muka air di suhu dan hilir lubang

Koefisien kontraksi dan koefisien debit lubang terendam dapat dianggap sama dengan lubang bebas.

1. Lubang besar

Dipandang lubang besar berbentuk segi empat dengan lebar b dan tinggi d (gambar 3) yang melewatkan debit aliran secara bebas ke udara luar (tekanan atmosfer). Elevasi permukaan zat cair di dalam kolam adalah konstan secara H dari sumbu lubang. Distribusi kecepatan pada vena kontrakta CC adalah sebanding dengan dari kedalaman pada setiap titik.



Gambar 3. Lubang besar

Debit aliran melalui lubang dapat di hitung dengan memandang aliran melalui suatu elemen kecil dengan lebar b dan tinggi dh yang berada pada keadaan h permukaan zat cair. Kecepatan aliran melalui elemen tersebut adalah:

$$V = C_v \sqrt{2gh} \quad (25)$$

Debit aliran melalui elemen adalah:

$$dQ = C_d b dh \sqrt{2gh} \quad (26)$$

Untuk mendapatkan debit aliran melalui lubang, maka persamaan di atas diintegrasikan, sehingga :

$$Q = C_d b \sqrt{2g} \int_{H_1}^{H_2} h^{3/2} dh = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left[h^{3/2} \right]_{H_1}^{H_2} \quad (27)$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left(H_2^{3/2} - H_1^{3/2} \right) \quad (28)$$

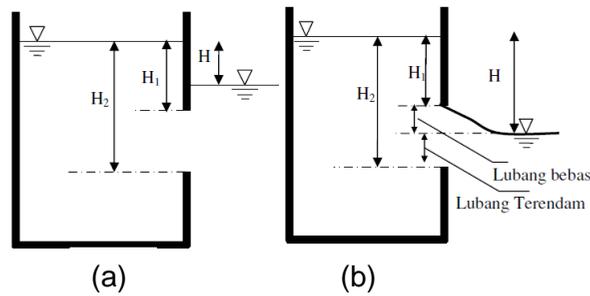
Apabila zat cair mempunyai kecepatan datang V_0 maka persamaan (28) menjadi:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left\{ \left(H_2 + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(H_1 + \frac{V_0^2}{2g} \right)^{3/2} \right\} \quad (29)$$

Apabila elevasi permukaan zat cair sebelah hilir berada di atas sisi atas lubang maka aliran disebut melalui lubang terendam (Gambar 11 a) pada kondisi ini penurunan rumus debit aliran dilakukan seperti pada lubang kecil yang terendam. Rumus debit melalui lubang besar yang terendam adalah:

$$Q = C_d b (H_2 - H_1) \sqrt{2gH} \quad (30)$$

Apabila elevasi muka air hilir berada di atas sisi bawah lubang dan di bawah sisi atas maka aliran disebut melalui lubang terendam sebagian (gambar 4 b). Debit aliran merupakan gabungan aliran melalui terendam dan lubang bebas.



Gambar 4. Aliran melalui lubang terendam (a) dan terendam sebagian (b)

Rumus debit aliran melalui lubang besar yang terendam sebagian adalah:

$$Q = Q1 \text{ (bebas)} + Q2 \text{ (terendam)} \quad (31)$$

$$Q1 = \frac{2}{3} Cd b \sqrt{2g} (H2^{3/2} - H1^{3/2}) \quad (32)$$

$$Q2 = Cd b (H2 - H1) \sqrt{2gH} \quad (33)$$

H. Aliran pada Saluran Terbuka

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (1996:103) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

Tipe aliran saluran terbuka menurut Triatmodjo (1996:104) adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds $Re > 1.000$,

dan laminar apabila $Re < 500$. Aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang saluran terbuka adalah konstan. Aliran melalui saluran terbuka disebut tidak seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*), apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah tidak beraturan. Aliran disebut mantap apabila variabel aliran di suatu titik seperti kedalaman dan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap.

Pengaruh gesekan dan gaya gravitasi dijumpai pada aliran melalui bangunan sungai. Dalam studi model, kedua hal tersebut perlu diperhatikan dalam penetapan skala. Pengaruh gesekan yang dominan mensyaratkan bahwa nilai angka Reynold di model dan prototipe sama, atau $nRe = 1$, sedang pengaruh gaya gravitasi yang dominan mensyaratkan bahwa nilai angka Froude di model, dan prototipe sama atau $nFr = 1$. Dalam studi model ini berkaitan dengan sifat aliran dimana pengaruh gaya gravitasi dominan, sehingga skala didasarkan pada syarat $nFr = 1$. Sedangkan angka / bilangan Froude adalah :

$$Fr = \frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0}} \quad (34)$$

Dimana :

Fr = bilangan Froude

V = kecepatan aliran (m/det)

g = gravitasi bumi (m/det²)

y_0 = kedalaman aliran (m)

dimana nilai U_0 diperoleh dengan rumus :

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

Q = debit aliran (m³/det)

A = luas penampang saluran (m²)

Dalam studi model, angka Froude pada prototipe dan model harus sama.

$$\left(\frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0}} \right)_m = \left(\frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0}} \right)_p \quad (35)$$

Dengan :

V = Kecepatan aliran (m/det)

g = Percepatan gravitasi (m/det²)

y_0 = Kedalaman aliran (m)

m = Model

p = Prototipe

Angka Froude digunakan apabila gaya berat mempunyai pengaruh dominan dibandingkan gaya lain, seperti pengaliran air dalam saluran terbuka, peluapan pada bangunan pelimpah (*spillway*), aliran dari lubang dan sebagainya. Apabila suatu model dipelajari berdasarkan angka Froude, maka pengaruh gaya lain seperti gaya kental dan tegangan permukaan

harus dihilangkan dengan membuat model yang besar dan dan permukaannya halus.

I. Rancangan Model

Pada dasarnya tampang sungai biasanya mempunyai dimensi horisontal yang jauh lebih besar daripada dimensi vertikal. Apabila rancangan model sungai dibuat dengan skala horisontal dan skala vertikal yang sama, maka kedalaman air pada model akan menjadi sangat kecil, yang mengakibatkan kesulitan pada saat melakukan pengukuran. Untuk menghindari keadaan tersebut, maka dibuat model dengan skala distorsi yang akan membedakan antara skala horisontal dengan skala vertikal.

Untuk memperoleh kesaksamaan yang tinggi pada proses pembuatan maka perlu dilakukan dua tahap pengecekan model. Tahap pertama yaitu kalibrasi dimana pada tahap ini pengaturan model agar supaya data-data yang ada di prototipe sesuai dengan yang ada di model. Setelah memenuhi syarat kalibrasi lalu dilakukan tahap pengecekan yang kedua yang disebut verifikasi. Dimana verifikasi adalah pembuktian bahwa model sudah sesuai dengan yang ada di prototipe tanpa merubah atau mengatur model lagi. Untuk keperluan verifikasi diperlukan data seperti yang dipergunakan pada kalibrasi.

Dalam desain suatu bangunan besar pembuatan model sangat diperlukan karena :

1. Dalam perencanaan seringkali dibuat satu asumsi untuk menyederhanakan suatu masalah, namun dalam praktek tidak semua

asumsi tersebut terdapat penyimpangan dari asumsi awal. Pemodelan dapat mengkaji sejauh mana terjadinya penyimpangan dan bagaimana cara mengatasinya.

2. Tidak semua masalah hidraulik dapat dengan mudah diselesaikan secara matematik, sehingga dengan pembuatan model diharapkan dapat mengatasi masalah tersebut.
3. Mencari kemungkinan terjadinya suatu gangguan yang mungkin terjadi di dalam pengoperasian prototipe.
4. Mengkoreksi dimensi yang ada tidak dilakukan didalam pekerjaan perencanaan, sehingga terhindar dari terjadinya dimensi yang terlalu besar.

Dasar-dasar dalam penetapan skala model adalah membentuk kembali masalah atau problema yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil (model), sehingga kejadian (fenomena) yang ada di model tersebut sebangun (mirip) dengan yang ada di prototipe. Kesebangunan tersebut dapat berupa :

1. Sebangun geometrik

Sebangun geometrik disebut juga sebangun bentuk, yaitu mensyaratkan bahwa model harus mempunyai bentuk yang sama dengan prototipe tetapi berbeda ukuran. Hal ini berarti bahwa semua semua besaran linear pada model dan prototipe dihubungkan dengan suatu nilai konstanta.

$$nL = nh \quad (36)$$

$$n_L = \frac{L_p}{L_m} \quad (37)$$

$$n_h = \frac{h_p}{h_m} \quad (38)$$

Pada sebangun geometrik sempurna dapat ditentukan bahwa :

$$\text{Skala Luas : } n_A = \frac{A_p}{A_m} = (n_L)^2 \quad (39)$$

$$\text{Skala volume : } n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^3 \quad (40)$$

Sedangkan pada sebangun geometrik dengan distorsi dapat ditentukan bahwa :

Skala luas posisi horisontal:

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = (n_L)^2 \quad (41)$$

Skala luas posisi vertikal:

$$n_A = \frac{A_p}{A_m} = n_L x n_h \quad (42)$$

Skala volume :

$$n_V = \frac{V_p}{V_m} = (n_L)^2 x n_h \quad (43)$$

2. Sebangun kinematik

Sebangun kinematik disebut juga sebangun aliran, mensyaratkan bahwa pola aliran di model dan prototipe adalah sebangun. Hal tersebut dapat berarti bahwa kecepatan aliran di model dan prototipe di titik-titik yang sama besarnya menurut nilai perbandingan tertentu.

Skala waktu :

$$n_t = \frac{t_p}{t_m} \quad (44)$$

Skala kecepatan :

$$n_u = \frac{L_p/t_p}{L_m/t_m} = \frac{L_p/L_p}{t_p/t_m} = n_L \cdot n_t^{-1} \quad (45)$$

Skala percepatan :

$$n_a = n_L \cdot n_t^{-2} \quad (46)$$

Skala debit :

$$n_Q = n_L^3 \cdot n_t^{-1} \quad (47)$$

3. Sebangun dinamik

Sebangun dinamik terjadi apabila prototipe dan model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototipe untuk seluruh pengaliran pada arah yang sama. Sebangun dinamik mensyaratkan bahwa perbandingan antara gaya di model dan prototipe mempunyai nilai yang konstan. Sebagai ukuran gaya pada model dan prototipe biasanya dipakai suatu gaya imajiner yang disebut gaya inersia yang nilainya didapat berdasarkan persamaan berikut:

Gaya Inersia : $F_t = m \cdot a$

$$MLT^{-1} = \rho L^3 LT^{-2} = \rho L^3 T^{-2} \quad (48)$$

Skala gaya inersia :

$$n_m = \frac{m_p \cdot a_p}{m_m \cdot a_m} = n_p \cdot n_L^4 \cdot n_t^{-2} \quad (49)$$

J. Bilangan Tak Berdimensi

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter yang berpengaruh, serta dipakai untuk menggambarkan

hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi tersebut dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode Basic Echelon, Metode Buckingham, Metode Rayleigh, Metode Stepwise dan Metode Langhaar (Yuwono, 1996). Untuk penelitian ini digunakan metode Langhaar karena variabel yang berpengaruh relatif sedikit serta metode ini tersusun sistemik.

Metode *Langhaar* menjelaskan fenomena model hidraulik dengan n parameter P_i dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Jika parameter tersusun oleh m elemen pokok maka produk bilangan tak berdimensi dapat diturunkan sejumlah $(n-m)$. Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa (M), Panjang (L) dan waktu (T) (Yuwono, 1996).

Bilangan tak berdimensi (π_j) dapat dinyatakan :

$$\pi_j = P_1^{k_1} P_2^{k_2} P_3^{k_3} \dots \dots \dots P_n^{k_n} \quad (50)$$

Dimana $\pi_j =$ produk bilangan tak berdimensi dengan $j = 1, 2, 3, \dots, n$.
jika P_i mempunyai dimensi $M^{\alpha_i}, L^{\beta_i}, T^{\gamma_i}$, maka dapat ditulis :

$$\pi_j = (M^{\alpha_1} L^{\beta_1} T^{\gamma_1})^{k_1} * (M^{\alpha_2} L^{\beta_2} T^{\gamma_2})^{k_2} * \dots \dots \dots * (M^{\alpha_n} L^{\beta_n} T^{\gamma_n})^{k_n}$$

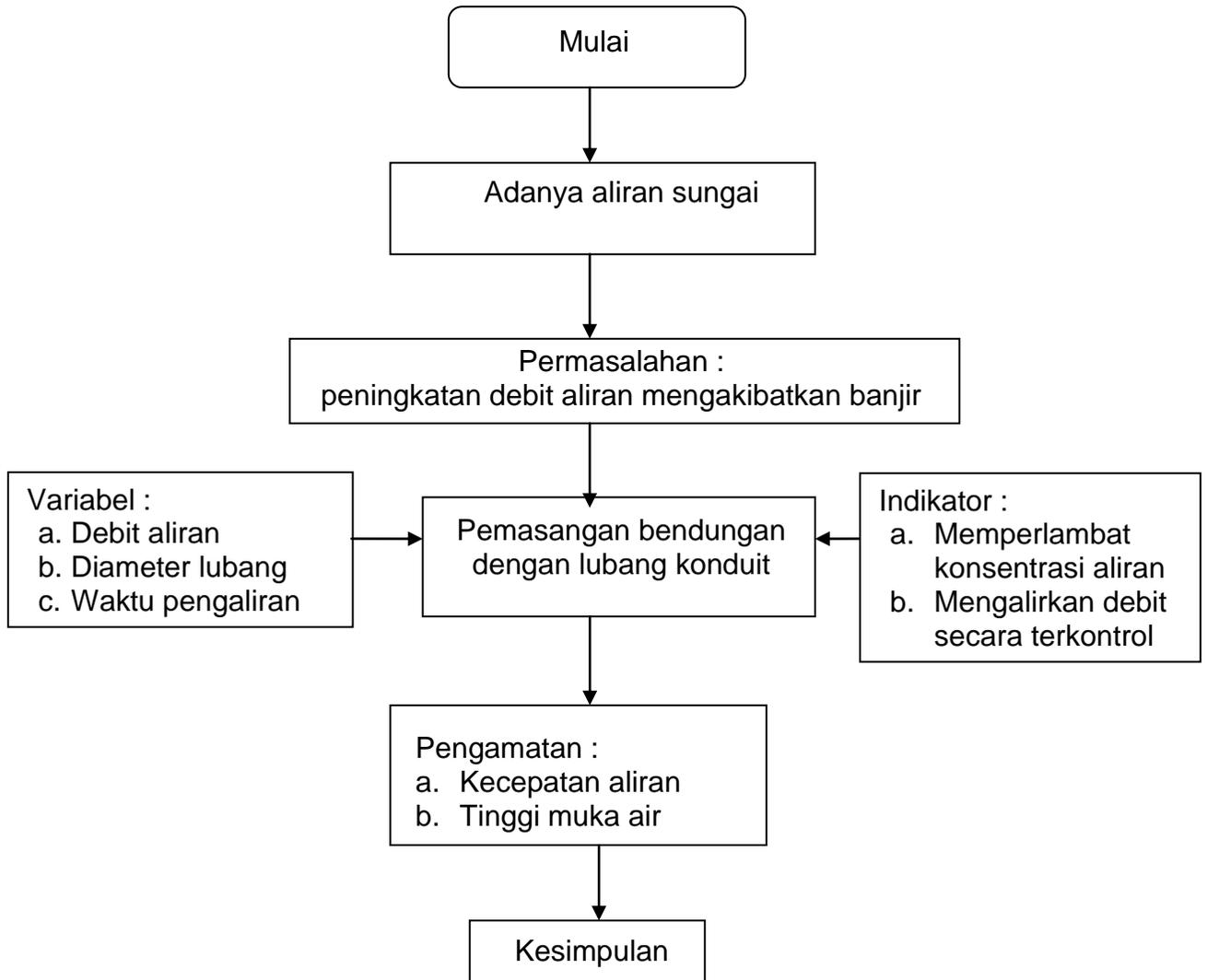
Atau

$$\pi_j = (M^{\alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots + \alpha_n k_n}) * (L^{\beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots + \beta_n k_n}) * (T^{\gamma_1 k_1 + \gamma_2 k_2 + \dots + \gamma_n k_n}) \quad (51)$$

π_j merupakan bilangan tak berdimensi jika :

$$\begin{aligned} \alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \dots \dots \dots + \alpha_n k_n &= 0 \\ \beta_1 k_1 + \beta_2 k_2 + \dots \dots \dots + \beta_n k_n &= 0 \\ \tau_1 k_1 + \tau_2 k_2 + \dots \dots \dots + \tau_n k_n &= 0 \end{aligned} \quad (52)$$

K. KERANGKA PIKIR



Gambar 5. Kerangka pikir