

**SKRIPSI**

**METODE PENGUKURAN DEBIT PADA FLUME  
EKSPERIMEN SALURAN TERBUKA DI LABORATORIUM  
HIDROLIKA UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**BINTANG PUTRA PATRIOT LELENG**

**D011191013**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### METODE PENGUKURAN DEBIT PADA FLUME EKSPERIMEN SALURAN TERBUKA DI LABORATORIUM HIDROLIKA UNIVERSITAS HASANUDDIN

Disusun dan diajukan oleh

**Bintang Putra Patriot Leleng**

**D011191013**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 September 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.  
NIP 196410201991031002

Pembimbing Pendamping,



Muhammad Farid Maricar, B.Eng., M.Eng.  
NIP 199210312018015001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T, M.Eng  
NIP 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Bintang Putra Patriot Leleng  
NIM : D011191013  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Metode Pengukuran Debit Pada Flume Eksperimen Saluran Terbuka Di  
Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin }

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 2 September 2023

Yang Menyatakan



Bintang Putra Patriot L

## ABSTRAK

Flume merupakan sebuah alat konstruksi saluran terbuka buatan yang menampung air dalam jumlah yang diinginkan dan digunakan sebagai pengamatan, pengukuran ataupun pengujian yang dilengkapi dengan arus air yang dapat dikontrol debitnya serta kemiringan saluran dapat diatur sesuai kebutuhan. Validasi Pengukuran debit biasa digunakan untuk praktikum atau penelitian terbilang masih belum terlalu baik di laboratorium hidrolika

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan memvalidasi berbagai variasi metode pengambilan data debit pada flume eksperimen saluran terbuka di laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan dua model yakni peluap segiempat dan pintu sorong. Dilakukan empat variasi metode pengambilan data debit pada masing-masing model sehingga data perbandingan yang dihasilkan dapat lebih akurat.

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa penyimpangan data debit terbesar terjadi pada metode current meter. Sedangkan metode yang memiliki penyimpangan data terkecil ada pada metode debit takar, yakni metode gelas ukur dan metode timbangan.

**Kata Kunci:** Flume, Debit, Pintu Sorong, Peluap Segiempat, Current Meter

## ABSTRACT

Flume is an artificial open canal construction tool that holds the desired amount of water and is used for observation, measurement or testing equipped with water flow that can be controlled by discharge and canal slope can be adjusted as needed. Validation Discharge measurements commonly used for practicum or research are still not very good in the hydraulics laboratory

The purpose of this study was to analyze and validate various methods of collecting discharge data on an open channel flume experiment at the Hydraulics Laboratory of Hasanuddin University.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using two models, namely rectangular overflow and sluice gate. Four variations of the discharge data collection method were carried out for each model so that the resulting comparative data can be more accurate.

Based on the results of the study, it was found that the largest discharge data deviation occurred in the current meter method. While the method that has the smallest data deviation is the measuring discharge method, namely the measuring cup method and the weighing method.

**Keywords:** Flume, Discharge, Sluice Gate, Rectangular overflow, Current Mete

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
KATA PENGANTAR .....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Saluran Terbuka .....	4
2.2 Klasifikasi Aliran .....	5
2.3 Tampang Lintang Ekonomis.....	6
2.4 Debit Aliran.....	8
2.5 Pengukuran Kecepatan Aliran .....	10
2.5.1 Pelampung.....	10
2.5.2 Current Meter .....	11
2.6 Massa Jenis, Berat Jenis dan Rapat Relatif.....	13
2.7 Aliran Melalui Lubang Kecil.....	15
2.8 Debit Aliran Melalui Peluap Segiempat .....	17
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Lokasi Penelitian.....	19
3.2 Benda Uji dan Alat .....	19
3.3 Prosedur Penelitian .....	19
3.3.1 Tahapan Pendahuluan.....	23

3.3.2 Rancangan Penelitian.....	24
3.3.3 Pengambilan Data.....	25
3.3.4 Analisis dan Pengolahan Data.....	27
3.4 Diagram Alir Penelitian .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Debit Aliran Pada Peluap Segiempat .....	29
4.1.1 Debit Takar.....	29
4.1.2 Kecepatan Aliran .....	36
4.2 Debit Aliran Pada Pintu Sorong.....	44
4.2.1 Debit Takar.....	44
4.2.2 Kecepatan Aliran .....	50
4.3 Rekapitulasi dan Analisis Data Debit.....	58
4.4 Koefisien Debit.....	60
4.4.1 Koefisien Debit Peluap Segiempat.....	60
4.4.2 Koefisien Debit Pintu Sorong .....	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>68</b>
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Aliran seragam (a) dan Aliran berubah (b) .....	6
Gambar 2 Aliran ekonomis bentuk segiempat .....	8
Gambar 3 Kecepatan aliran melalui saluran tertutup .....	9
Gambar 4 Kecepatan aliran melalui saluran terbuka .....	9
Gambar 5 Pengukuran kecepatan dengan pelampung .....	11
Gambar 6 Tipe Pelampung .....	11
Gambar 7 current meter tipe mangkok dan baling – baling .....	12
Gambar 8 Pengukuran kecepatan pada vertikal .....	13
Gambar 9 Aliran Bebas pada Pintu Sorong .....	15
Gambar 10 Lobang Kecil .....	16
Gambar 11 Peluap Segiempat .....	17
Gambar 12 Peluap segiempat dengan kecepatan awal .....	18
Gambar 13 Lokasi Penelitian .....	19
Gambar 14 Flume Saluran Percobaan .....	20
Gambar 15 <i>Point Gauge</i> .....	20
Gambar 16 Model Peluap Segiempat .....	21
Gambar 17 Model Pintu Sorong .....	21
Gambar 18 Current Meter Flowatch FI 03 .....	21
Gambar 19 Formulir Penelitian .....	22
Gambar 20 Profil Memanjang Flum model Peluap Segiempat .....	24
Gambar 21 Profil Memanjang Flume model Pintu Sorong .....	24
Gambar 23 Diagram Alir .....	28
Gambar 24 Grafik Debit Takar Menggunakan Gelas Ukur Pada Peluap Segiempat .....	32
Gambar 25 Grafik Debit Takar Menggunakan Timbangan Pada Peluap Segiempat .....	35
Gambar 26 Histogram Debit Takar Pada Peluap Segiempat .....	35
Gambar 27 Grafik Debit dari Data Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Peluap Segiempat .....	39
Gambar 28 Grafik Debit dari Data Kecepatan Menggunakan Pelampung pada Peluap Segiempat .....	42
Gambar 29 Histogram Debit Menggunakan Kecepatan Pada Peluap Segiempat .....	43
Gambar 30 Grafik Debit Takar Menggunakan Gelas Ukur Pada Pintu Sorong .....	47



Gambar 31 Grafik Debit Takar Menggunakan Timbangan Pada Pintu Sorong .....	49
Gambar 32 Histogram Debit Takar Pada Pintu Sorong .....	50
Gambar 33 Grafik Debit dari Data Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Pintu Sorong .....	53
Gambar 34 Grafik Debit dari Data Kecepatan Menggunakan Pelampung pada Pintu Sorong .....	56
Gambar 35 gambar Menggunakan Kecepatan Pada Pintu Sorong .....	57
Gambar 36 Histogram Perbandingan Data Debit Pada Peluap Segiempat .....	58
Gambar 37 Histogram Perbandingan Data Debit Pada Pintu Sorong .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat-sifat air pada tekanan atmosfer.....	15
Tabel 2 Rancangan Penelitian.....	24
Tabel 3 Pengukuran Debit Takar pada Peluap Segiempat.....	29
Tabel 4 Pengukuran Debit Takar menggunakan Gelas Ukur pada Peluap Segiempat.....	30
Tabel 5 Hasil Debit Takar Menggunakan Gelas Ukur pada Peluap Segiempat.....	31
Tabel 6 Pengukuran Debit Takar menggunakan Timbangan pada Peluap Segiempat.....	32
Tabel 7 Hasil Debit Takar Menggunakan Timbangan pada Peluap Segiempat.....	34
Tabel 8 Pengukuran Kecepatan pada Peluap Segiempat.....	36
Tabel 9 Pengukuran Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Peluap Segiempat.....	37
Tabel 10 Konversi Satuan Pengukuran Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Peluap Segiempat.....	37
Tabel 11 Debit Pengukuran Current Meter pada Peluap Segiempat.....	39
Tabel 12 Pengukuran Kecepatan Menggunakan Pelampung pada Peluap Segiempat.....	40
Tabel 13 Debit Pengukuran Metode Pelampung pada Peluap Segiempat.....	42
Tabel 14 Pengukuran Debit Takar pada Pintu Sorong.....	44
Tabel 15 Pengukuran Debit Takar menggunakan Gelas Ukur pada Pintu Sorong.....	45
Tabel 16 Hasil Debit Takar Menggunakan Gelas Ukur pada Pintu Sorong.....	46
Tabel 17 Pengukuran Debit Takar menggunakan Timbangan pada Pintu Sorong.....	47
Tabel 18 Hasil Debit Takar Menggunakan Timbangan pada Pintu Sorong.....	49
Tabel 19 Pengukuran Kecepatan pada Peluap Segiempat.....	51
Tabel 20. Pengukuran Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Peluap Segiempat.....	51
Tabel 21 Konversi Satuan Pengukuran Kecepatan Menggunakan Current Meter pada Peluap Segiempat.....	52
Tabel 22 Debit Pengukuran Current Meter pada Pintu Sorong.....	53
Tabel 23 Pengukuran Kecepatan Menggunakan Pelampung pada Pintu Sorong.....	54
Tabel 24. Debit Pengukuran Metode Pelampung pada Pintu Sorong.....	56
Tabel 25 Rekapitulasi Debit Aliran pada Flume dengan model Peluap Segiempat.....	58

Tabel 26 Rekapitulasi Debit Aliran pada Flume dengan model Pintu Sorong .....	59
Tabel 27. Pembacaan Tinggi pada Peluap Segiempat .....	61
Tabel 28. Rekapitulasi koefisien debit pada peluap segiempat.....	62
Tabel 29. Pembacaan Tinggi pada Pintu Sorong .....	62
Tabel 30. Rekapitulasi koefisien debit pada peluap segiempat.....	63

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Q	Debit ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )
A	Luas Penampang ( $\text{cm}^2$ )
n	Kekasaran Dinding
P	Keliling Basah (m)
R	Jari-jari Hidrolis (m)
B/l	Lebar penampang (m)
v	Kecepatan (m/s)
s	Jarak (m)
t	Waktu (s)
p	Massa Jenis ( $\text{kg}/(\text{m}^3)$ )
V	Volume ( $\text{cm}^3$ )
g	percepatan gravitasi( $\text{m}/\text{s}^2$ )
$\gamma$	Berat Jenis( $\text{N}/\text{m}^3$ )
w	Berat (kg)
hr	Tinggi rata-rata (m)
d	Tinggi bagian pelampung yang tenggelam (m)
Kp	Koefisien Pelampung
H0	Tinggi Peluap (cm)
H1	Tinggi Muka Air pada model peluap (cm)
H2	Beda tinggi muka air dan peluap (cm)
yg	Tinggi bukaan pintu sorong (cm)
y0	Tinggi muka air sebelum pintu sorong (cm)
y2	Tinggi muka air setelah pintu sorong (cm)
Cd	Koefisien Debit

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul, “Metode Pengukuran Debit Pada Flume Eksperimen Saluran Terbuka Di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin”. Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk dapat menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tugas akhir ini disusun berdasarkan penelitian terhadap hambatan pada saluran terbuka terhadap distribusi kecepatan aliran.

Penulis berusaha membuat sebaik mungkin Tugas Akhir ini, namun penulis menyadari bahwa dalam penulisan masih banyak kesalahan dan kekurangan-kekurangan baik penyusunan kata maupun kalimat yang kurang sempurna, dan menyebabkan laporan ini jauh dari kata sempurna. Dalam Menyusun Tugas Akhir ini, tidak mungkin penulis dapat menyelesaikannya tanpa ada bantuan dan masukan dari berbagai pihak untuk segala kelancarannya. Oleh karena itu, penulis ucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya, antara lain kepada

1. Kedua orang tua, yaitu Ayah **Armyson Yosef Leleng** dan Ibu **Halima H** atas semua dukungan terbaik kepada anak keduanya dari lahir hingga seperti sekarang ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. **Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, S.T, M.Eng,** selaku Kepala Departemen Teknik Sipil.
4. Bapak **Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
5. Bapak **Muhammad Farid Maricar, B.Eng., M.Eng.** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaga dengan sabar membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.

6. Ibu **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.** yang telah banyak memberikan pelajaran dan inspirasi kepada penulis selama mengemban jabatan sebagai Koordinator Asisten Laboratorium Hidrolika.
7. Bapak **Dr.Ir.Riswal.K,ST.,MT.,IPM.,ASEAN.Eng.** Selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh Dosen dan Admin Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Saudara-saudara ku di rumah **Inri Leonardo, Gwen Marsya, dan Ghita Aurelia**
10. Saudara-saudara Seramtek Semawang ku **Jono, Yyt, Taps, Bg Rama, Erwin, Topik. Adam, Didi, Davi, Alil, Aman, Alex, Hc, Mikey, dan Ian.**
11. **D131191077** yang selalu menemani dan melukiskan warna-warna indah di kehidupan penulis.
12. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Hidrolika Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan pengalaman dan amanah dalam mengemban tanggung jawab di Laboratorium Hidrolika.
13. **Pak Ahmad Yani, S.T.** yang senantiasa memberikan masukan dan saran mulai dari pengambilan data hingga penyusunan tugas akhir.
14. **HMS FT-UH, WELCOME09 SMFT-UH,** dan **PAGUYUBAN KSE-UH** sebagai wadah dan tempat bagi penulis dibentuk di Kampus Unhas.
15. **Yayasan Beasiswa KSE** serta **PT Protelindo** yang selalu mencukupi segala kebutuhan finansial penulis hingga saat ini.
16. Komunitas **Sekolah Mimpi** dan **Pajappa Bangkeng** sebagai salah satu rumah dan sarana bagi penulis dalam mewujudkan nilai-nilai mahasiswa.
17. Teman-teman Sipil Lingkungan angkatan 2019 yang selalu kebersamai selama berpijak di Kampus Teknik.

Semoga Tuhan membalas segala kebaikan yang telah penulis terima dari semua pihak yang telah membantu.

Akhirnya, semoga Tugas Akhir ini dapat membawa manfaat yang bagi penulis dan kepada pembaca, kiranya karya ini dapat memberikan masukan dan saran kepada kampus khususnya di lingkup laboratorium Hidrolika Unhas.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Laboratorium merupakan salah satu prasarana pendidikan, yang dapat digunakan sebagai tempat berlatih para peserta didik dalam memahami konsep konsep dengan melakukan percobaan dan pengamatan. Dengan demikian, laboratorium merupakan bagian yang integral tak dapat dipisahkan dari suatu pengajaran di dalam kelas. Keberadaan laboratorium diperlukan untuk memberikan pengalaman langsung dari aplikasi teori yang diterima melalui kegiatan laboratorium/praktikum, untuk menunjang kegiatan belajar mengajar di kelas. (Gunawan D, 2014).

Saluran adalah suatu sarana untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain, saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka (*open channel*), permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara. (Sartika, 2009). Sedangkan *Flume* merupakan sebuah alat konstruksi saluran terbuka buatan yang menampung air dalam jumlah yang diinginkan dan digunakan sebagai pengamatan, pengukuran ataupun pengujian yang dilengkapi dengan arus air yang dapat dikontrol debitnya serta kemiringan saluran dapat diatur sesuai kebutuhan.

Terdapat beberapa *Flume* pada Laboratorium Hidrolika Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin. *Flume* tersebut digunakan untuk praktikum dan juga digunakan penelitian untuk tugas akhir oleh mahasiswa. S1, S2, maupun mahasiswa S3. Hanya sedikit metode pengukuran debit aliran pada *flume* yang ada di laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin. Hal tersebut membuat ketelitian data pada praktikum atau penelitian menjadi kurang akurat karena tidak ada perbandingan data dari berbagai metode pengukuran debit aliran yang membuat kurangnya validasi dari pengukuran yang biasa dilakukan saat penelitian atau pun praktikum.

Melihat permasalahan di atas maka penulis melakukan pengujian dengan judul **"Metode Pengukuran Debit pada *Flume* Eksperimen Saluran Terbuka di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin"** dengan harapan dari

hasil penelitian ini nantinya akan digunakan menjadi referensi pengukuran debit untuk praktikum atau penelitian menggunakan *Flume* di Laboratorium Hidrolika Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang penelitian dapat ditarik kesimpulan mengenai bahasan permasalahan yang menjadi pokok pembahasan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi metode pengukuran debit pada *flume* Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin ?
2. Bagaimana perbandingan hasil dari berbagai variasi metode pengukuran debit pada *flume* Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi maksud dan tujuan-tujuan sebagai berikut:

1. Mencari nilai debit berbagai variasi metode pengukuran debit pada *flume* Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin
2. Menganalisis perbandingan hasil dari berbagai variasi metode pengukuran debit pada *flume* Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam untuk Laboratorium Hidrolika Unhas dalam mengembangkan berbagai pengujian ataupun praktikum yang menjadi salah satu capaian mata kuliah Hidrolika ataupun Mekanika Fluida. Penelitian ini juga diharapkan bisa membantu pembaca dalam menjadi referensi pengukuran debit pada saluran terbuka khususnya *flume* sebagai salah satu alat yang ada di laboratorium Hidrolika.

## 1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Seluruh Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Hidrolika
- b. Kemiringan flume yang ditinjau adalah 0



- c. penelitian difokuskan untuk menganalisa dan memvalidasi berbagai metode pengukuran terhadap metode yang sering digunakan yakni debit takar menggunakan gelas ukur.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Saluran Terbuka**

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu saluran alam (natural) dan saluran buatan (artificial). Saluran alam meliputi semua saluran air yang terdapat secara alamiah di bumi, melalui dari anak selokan kecil di pegunungan, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai. Sifat-sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan sesungguhnya. Sehingga persyaratan aliran pada saluran ini dapat diterima untuk penyelesaian analisa hidrolis teoritis. Saluran buatan merupakan saluran yang dibuat manusia untuk tujuan dan kepentingan tertentu. Saluran buatan memiliki penampang teratur dan lebih mudah dalam melakukan analisa dibanding saluran alami.

Analisis aliran melalui saluran terbuka adalah lebih sulit daripada aliran melalui pipa (saluran tertutup). Di dalam pipa, tampang lintang aliran adalah tetap yang tergantung pada dimensi pipa. Demikian juga kekasaran dinding pipa adalah seragam di sepanjang pipa. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya. Ketidakteraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Oleh karena itu analisis aliran melalui saluran terbuka adalah lebih empiris dibanding dengan aliran melalui pipa. Sampai saat ini metoda empiris masih yang terbaik untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Untuk saluran buatan seperti saluran irigasi, drainasi, saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air atau untuk keperluan industry; karakteristik aliran di sepanjang saluran adalah seragam. Analisis aliran jauh lebih sederhana daripada melalui saluran alam. Teori aliran yang ada dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang diteliti. (Triatmodjo,2008)

## 2.2 Klasifikasi Aliran

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka 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  $Re < 500$ . Dalam hal ini panjang karakteristik yang ada pada angka Reynolds adalah jari-jari hidraulik, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara luas tampang basah dan keliling basah.

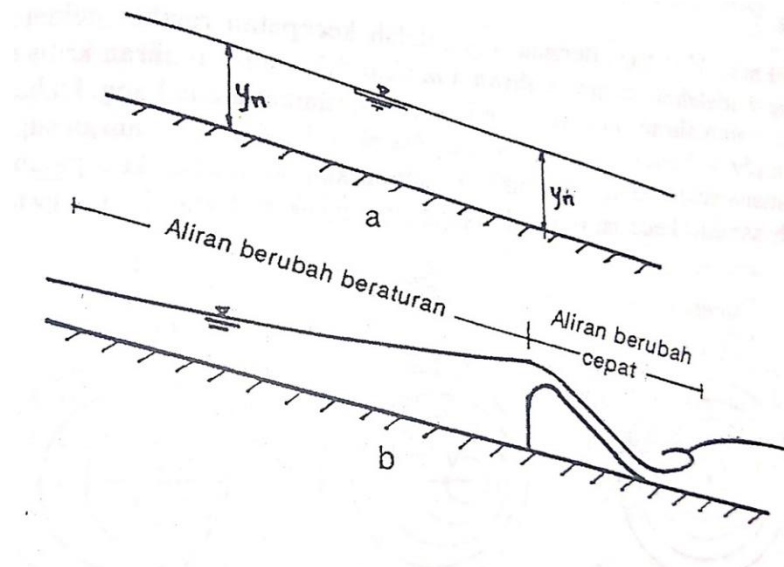
Aliran melalui saluran terbuka disebut seragam (uniform) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang di sepanjang aliran adalah konstan. Pada aliran seragam, garis energi, garis muka air dan dasar saluran adalah sejajar sehingga kemiringan dari ketiga garis tersebut adalah sama. Kedalaman air pada aliran seragam disebut dengan kedalaman normal  $y_n$ . Untuk debit aliran dan luas tampang lintang saluran tertentu, kedalaman normal adalah konstan di seluruh panjang saluran.

Aliran 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 beraturan. Gambar 1. menunjukkan kedua tipe aliran.

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.

Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis. Aliran disebut sub kritis apabila suatu gangguan (misalnya batu dilemparkan ke dalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu.

Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran di sebelah hulu. Apabila kecepatan cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis.



Gambar 1 Aliran seragam (a) dan Aliran berubah (b)

### 2.3 Tampang Lintang Ekonomis

Beberapa rumus kecepatan aliran yang diberikan dalam sub bab terdahulu menunjukkan bahwa untuk kemiringan dan kekasaran saluran tertentu, kecepatan akan bertambah dengan jari-jari hidrolis. Sehingga untuk luas tampang basah tertentu debit akan maksimum apabila nilai  $R=A/P$  maksimum, atau apabila keliling basah minimum. Dengan kata lain untuk debit aliran tertentu, luas tampang lintang saluran akan minimum apabila saluran mempunyai nilai  $R$  maksimum (atau  $P$  minimum). Tampang lintang saluran seperti ini disebut tampang saluran ekonomis (efisien) untuk luas tampang tertentu.

Penjelasan tentang tampang lintang ekonomis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rumus debit aliran, yang dalam hal ini misalnya digunakan rumus Manning.

$$Q = AV = A \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

dengan

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots(2)$$

Berdasarkan rumus tersebut akan dicari, untuk kemiringan saluran I dan kekasaran dinding  $n$ , suatu tampang lintang dengan luas yang sama  $A$  tetapi memberikan debit maksimal. Untuk nilai  $A$ ,  $n$  dan  $I$  konstan, debit akan maksimum apabila  $R$  maksimum.

Berdasarkan rumus tersebut akan dicari, untuk kemiringan saluran I dan kekasaran dinding  $n$ , suatu tampang lintang dengan luas yang sama  $A$  tetapi memberikan debit maksimal. Untuk nilai  $A$ ,  $n$  dan  $I$  konstan, debit akan maksimum apabila  $R$  maksimum.

Saluran dengan tampang segiempat biasanya digunakan untuk saluran yang terbuat dari pasangan batu atau beton. Bentuk segiempat ini sama dengan bentuk trapesium dengan nilai  $m = 0$ . Rumus-rumus untuk bentuk segiempat adalah sebagai berikut ini.

$$\text{Luas tampang basah : } A = B y \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Keliling Basah : } P = B + 2y \dots\dots\dots(4)$$

$$P = \frac{A}{y} + 2y$$

$$\text{Jari jari hidraulis : } R = \frac{A}{P} = \frac{By}{B+2y} \dots\dots\dots(5)$$

Debit aliran akan maksimum apabila jari-jari hidraulis maksimum dan ini dicapai apabila keliling basah  $P$  minimum. Untuk mendapatkan  $P$  minimum, differensial  $P$  terhadap  $y$  adalah nol.

$$\frac{dP}{dy} = -\frac{A}{y^2} + 2 = 0 \dots\dots\dots(6)$$

$$-B + 2y = 0$$

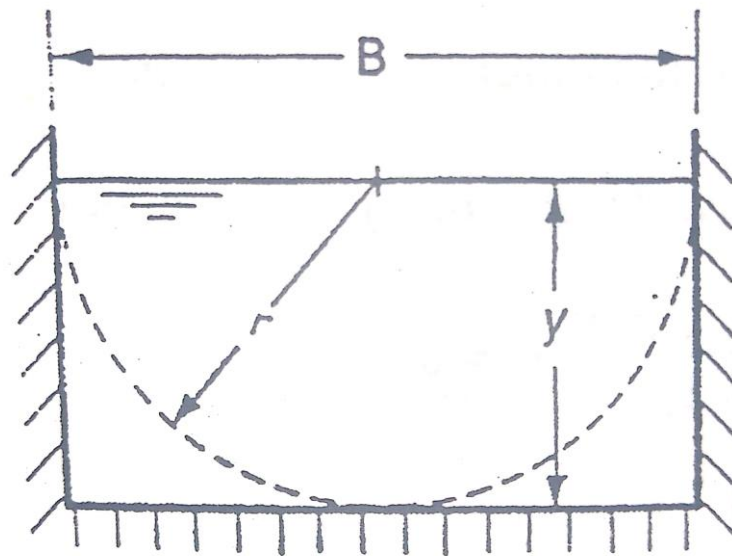
$$B = 2y$$

Jadi saluran dengan bentuk segi empat akan memberikan luas tampang ekonomis apabila lebar dasar sama dengan 2 kali kedalaman. Untuk saluran ekonomis segiempat, di dapat :

$$A = 2y^2 \dots\dots\dots(7)$$

$$P = 4y$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{y}{2}$$

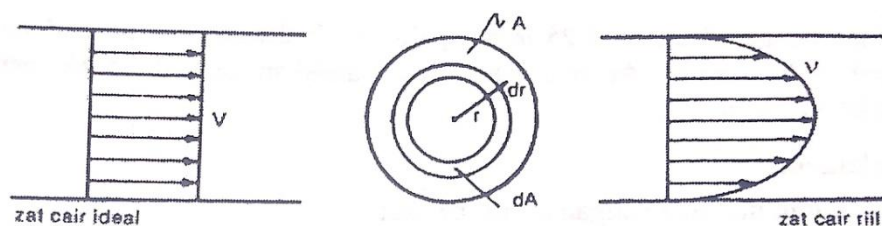


Gambar 2 Aliran ekonomis bentuk segiempat

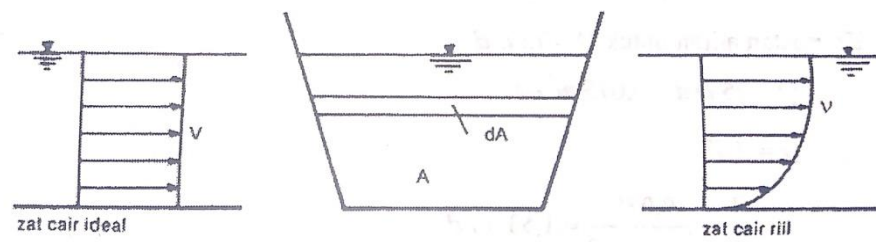
## 2.4 Debit Aliran

Jumlah zat cair yang mengalir melalui tampang lintang aliran tiap satu satuan waktu disebut debit aliran dan diberi notasi  $Q$ . Debit aliran biasanya diukur dalam volume zat cair tiap satuan waktu, sehingga satuannya adalah meter kubik per detik ( $m^3/d$ ) atau satuan yang lain (liter/detik, liter/menit, dsb).

Di dalam zat cair ideal, di mana tidak terjadi gesekan, kecepatan aliran  $V$  adalah sama di setiap titik pada tampang lintang. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan distribusi kecepatan aliran untuk zat cair ideal dan zat cair riil melalui pipa dan saluran terbuka.



Gambar 3 Kecepatan aliran melalui saluran tertutup



Gambar 4 Kecepatan aliran melalui saluran terbuka  
(Sumber : Triatmojo,1993)

Apabila tampang aliran tegak lurus pada arah aliran adalah  $A$ , maka debit aliran diberikan oleh bentuk berikut:

$$Q = A V \left( m^2 \times \frac{m}{d} = m^3/d \right) \dots \dots \dots (9)$$

Untuk zat cair riil, kecepatan pada dinding batas adalah nol, dan bertam bah dengan jarak dari dinding batas. Untuk aliran melalui pipa, kecepatan maksimum terjadi di sumbu pipa. Apabila  $v$  adalah kecepatan di pias setebal  $dr$  dan berjarak  $r$  dari sumbu, maka debit aliran melalui pias adalah :

$$dQ = dAv = 2\pi r v \dots \dots \dots (10)$$

Integrasi dari persamaan tersebut menghasilkan debit aliran total melalui seluruh tampang pipa  $A$ ,

$$Q = 2\pi \int_0^y v r dr$$

Apabila terdapat hubungan antara  $v$  dan  $r$ , maka debit aliran dapat dihitung. Dalam praktek, sering variasi kecepatan pada tampang lintang diabaikan, dan kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang lintang yang besarnya sama dengan kecepatan rerata  $V$ , sehingga debit aliran adalah :

$$Q = A V$$

## 2.5 Pengukuran Kecepatan Aliran

Pengukuran kecepatan air dapat dilakukan secara langsung dengan menggunakan pelampung atau secara tidak langsung yang biasanya menggunakan *current meter*.

### 2.5.1 Pelampung

Pengukuran kecepatan arus secara langsung dapat dilakukan dengan

menggunakan pelampung, yaitu dengan mengukur selang waktu yang diperlukan oleh pelampung untuk menempuh suatu jarak tertentu. Biasanya cara ini dilakukan pada waktu banjir di mana pemakaian current meter sulit dilakukan, atau pada survei pendahuluan. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 5, pengamat berada pada tampang *B* dan *C* yang berjarak *L*. Panjang *L* adalah sekitar empat sampai lima kali lebar sungai, dan posisinya terhadap tebing sungai dicatat. Pelampung-pelampung tersebut dimasukkan ke dalam sungai pada tampang *A* yang berada di sebelah hulu tampang *B*, sehingga pada saat pelampung sampai di tampang *B* kecepatannya sudah sesuai dengan kecepatan arus. Untuk

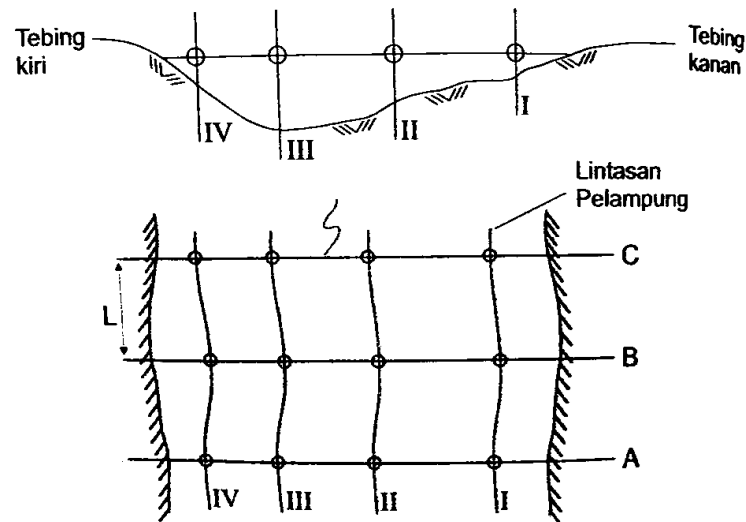
memasukkan pelampung ke sungai di tampang *A* bisa dilakukan dari jembatan, kabel yang melintang sungai, atau perahu jika sungai besar. Dengan mengetahui panjang *L* dan waktu yang diperlukan (*t*) oleh pelampung untuk melintas dari tampang *B* sampai *C*, dapat dihitung kecepatan aliran dengan persamaan berikut:

$$V = \frac{s}{t} \dots \dots \dots (11)$$

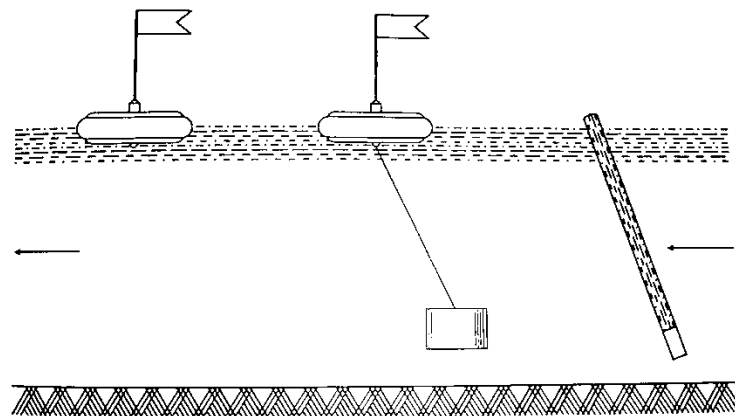
Pelampung permukaan adalah bahan yang dapat terapung di permukaan air, tidak berubah sifat dan bentuknya, dengan ukuran antara 10 cm sampai 30 cm, bagian yang tenggelam maksimum 25% dari kedalaman aliran dan bagian yang tidak tenggelam berkisar antara 3 sampai dengan 10 cm.

Ada tiga macam pelampung seperti ditunjukkan dalam Gambar 6 yaitu pelampung permukaan, pelampung dengan kaleng, dan pelampung batang. Pelampung tipe pertama mengukur kecepatan aliran pada permukaan, sedang tipe kedua dan ketiga untuk mengukur kecepatan rerata pada vertikal. Apabila digunakan tipe pertama, untuk mendapatkan kecepatan rerata pada vertikal, nilai terukur dikalikan dengan koefisien yang biasanya adalah 0,85.





Gambar 5 Pengukuran kecepatan dengan pelampung



Gambar 6 Tipe Pelampung

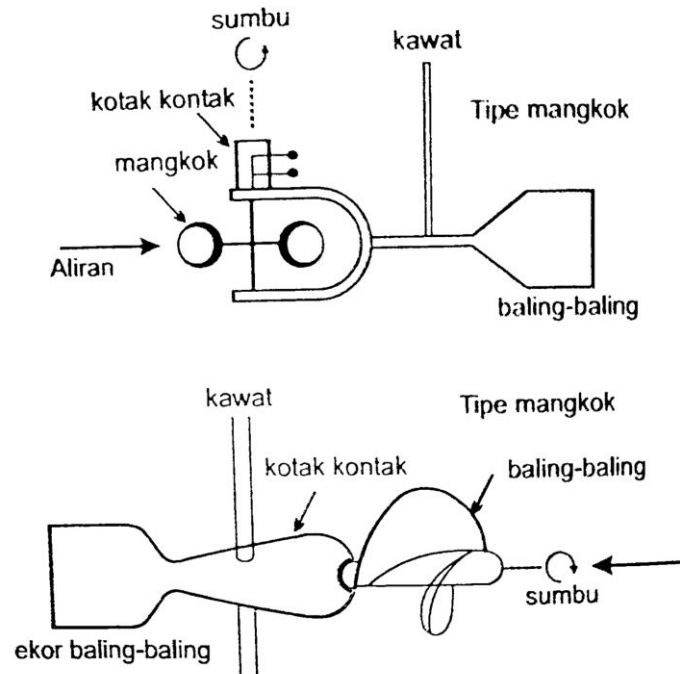
### 2.5.2 Current meter

Pengukuran kecepatan arus dengan current meter adalah yang paling banyak dilakukan. Ada dua tipe alat ukur yaitu tipe mangkok (Pricecup current meter) dan baling-baling (propeller current meter), seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Karena adanya partikel air yang melintasinya maka mangkok dan baling-baling akan berputar. Pada tipe pertama mangkok-mangkok berputar terhadap sumbu vertikal, sedang yang baling-baling berputar terhadap sumbu horisontal. Jumlah putaran per satuan waktu dapat dikonversi menjadi kecepatan arus .

Hubungan antara jumlah putaran per detik,  $n$ , dan kecepatan aliran,  $v$ , mempunyai bentuk linier berikut:

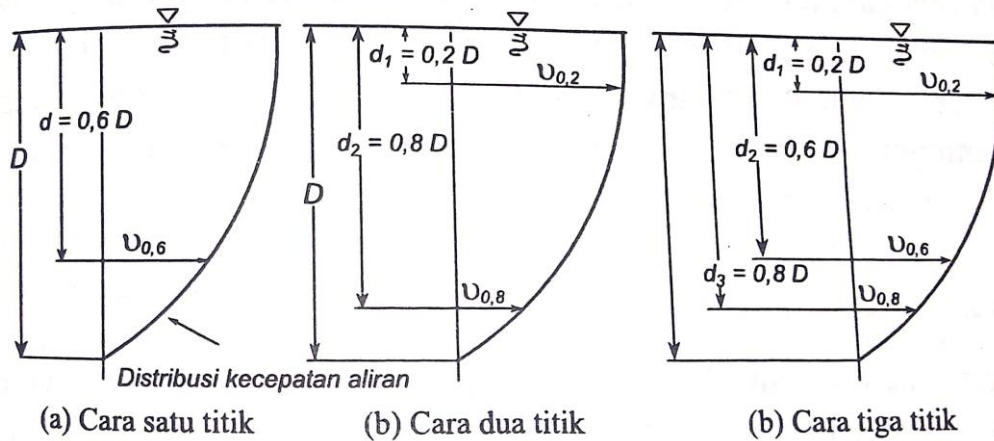
$$v = a + b n \dots\dots\dots(12)$$

dengan a dan b adalah konstanta yang diperoleh dari kalibrasi alat yang dilakukan oleh pabrik pembuatnya.



Gambar 7 current meter tipe mangkok dan baling – baling  
(sumber : Dandekar, 1991)

Current meter dapat dipasang pada batang atau digantungkan pada tali yang diberi pemberat. Cara pertama dapat digunakan untuk mengukur kecepatan di sungai kecil atau saluran dengan bantuan perahu atau pada jembatan. Cara kedua digunakan untuk mengukur di sungai yang besar. Karena perubahan kondisi aliran di sungai yang tidak dipengaruhi pasang surut relatif kecil, pengukuran kecepatan dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu alat dari satu vertikal ke vertikal berikutnya dalam satu tampang lintang. Pengukuran dilakukan di beberapa titik pada vertikal, yang selanjutnya dievaluasi untuk mendapatkan kecepatan rerata. Untuk menyingkat waktu dan menghemat biaya, pengukuran dapat dilakukan hanya di beberapa titik pada vertikal, yaitu pada 0,6 d; 0,2 d; dan 0,8 d; dengan d adalah kedalaman aliran. Kecepatan rerata di setiap vertikal dapat ditentukan dengan salah satu dari metode berikut yang tergantung pada ketersediaan waktu, ketelitian yang diharapkan, lebar dan kedalaman sungai.



Gambar 8 Pengukuran kecepatan pada vertikal

- a. Metode satu titik, hanya dapat dilakukan untuk air dangkal dimana metode dua titik atau lebih tidak bisa dilakukan. (Gambar 8) Kecepatan diukur pada 0,6 kedalaman air.

$$V = v_{0,6d}$$

- b. Metode dua titik dimana kecepatan rerata merupakan rerata kecepatan pada 0,2 dan 0,8 kedalaman (Gambar 8)

$$V = \frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2}$$

- c. Metode tiga titik, yang menghitung kecepatan rerata berdasar kecepatan pada 0,2 : 0,6 dan 0,8 kedalaman (Gambar 8).

$$V = \frac{v_{0,2} + v_{0,6} + v_{0,8}}{3}$$

### 2.6 Rapat Massa, Berat Jenis dan Rapat Relatif

Rapat massa,  $\rho$  (rho), didefinisikan sebagai massa zat cair tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu.

$$\rho = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (13)$$

dengan M adalah massa yang menempati volume V. Dalam sistem satuan SI apabila massa diberikan dalam kilogram (kg), maka rapat massa adalah dalam kilogram per meter kubik (kg/m<sup>3</sup>). Rapat massa air pada suhu 4° C dan tekanan atmosfer standard adalah 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Berat jenis yang diberi notasi  $\gamma$  (gamma), adalah berat benda tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu. Berat suatu benda adalah hasil kali antara massa dan percepatan gravitasi. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa dalam bentuk berikut :

$$\gamma = \rho g \dots\dots\dots(14)$$

dengan :

$\gamma$  : berat jenis ( $N/m^3$  untuk satuan SI atau  $kgf/m^3$  untuk satuan MKS)

$\rho$  : rapat massa ( $kg/m^3$  untuk satuan SI atau  $kgm/m^3$  untuk satuan MKS)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/d^2$ )

Berat jenis air pada  $4^\circ C$  dan tekanan atmosfer adalah  $9,81 \text{ kN/m}^3$  atau  $1000 \text{ kgf/m}^3$  atau  $1 \text{ ton/m}^3$ .

Apabila di dalam suatu permasalahan digunakan sistem satuan SI maka semua hitungan menggunakan rapat massa  $\rho$ , dan nilainya untuk air pada suhu  $4^\circ C$  dan tekanan atmosfer adalah  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ . Sedangkan pada pemakaian sistem satuan MKS hitungan dilakukan dengan menggunakan berat jenis  $\gamma$ , yang nilainya untuk air pada suhu  $4^\circ C$  dan tekanan atmosfer adalah  $\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3 = 1 \text{ t/m}^3$ .

Rapat relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara rapat massa suatu zat dan rapat massa air. Karena  $\gamma = \rho g$  maka rapat relatif juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat jenis suatu zat dan berat jenis air pada  $4^\circ C$  dan tekanan atmosfer. Bilangan ini tak berdimensi dan diberi notasi  $S$ ,

$$S = \frac{\rho_{\text{zat cair}}}{\rho_{\text{air}}} = \frac{\gamma_{\text{zat cair}}}{\gamma_{\text{air}}} \dots\dots\dots(15)$$

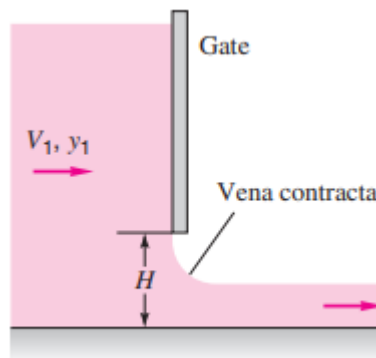
Perubahan rapat massa dan berat jenis zat cair terhadap temperature dan tekanan adalah sangat kecil sehingga dalam praktek perubahan tersebut diabaikan. Tabel 1. memberikan beberapa. sifat air pada tekanan atmosfer dan pada beberapa temperatur.

Tabel 1 Sifat-sifat air pada tekanan atmosfer

suhu °C	Rapat massa $\rho$ (kg/ m <sup>2</sup> )	Viskositas Dinamik $\mu$ (Nd/ m <sup>2</sup> )	Viskositas Kinematik $\nu$ (m <sup>2</sup> /d)	Tegangan permukaan $\sigma$ (N/ m)	Modulus Elastisitas $K$ (MN/ m <sup>2</sup> )
0,0	999,9	1,792x10 <sup>-3</sup>	1,792x10 <sup>-6</sup>	7,56x10 <sup>-2</sup>	2040
5,0	1000	1,51	1,51	7,54	2060
10,0	999,7	1.308	1.308	7,48	2110
20,0	998,2	1.005	1.007	7,36	2200
30,0	995,7	0,801	0,804	7,18	2230
40,0	992,2	0,656	0,661	7,01	2270
50,0	988,1	0,549	0,556	6,82	2300
60,0	983,2	0,469	0,477	6,68	2280
70,0	977,8	0,406	0,415	6,50	2250
80,0	971,8	0,357	0,367	6,30	2210
90,0	965,3	0,3117	0,328	6,12	2160
100,0	958,4	0,284x10 <sup>-3</sup>	0,296x10 <sup>-6</sup>	5,94x10 <sup>-2</sup>	2070

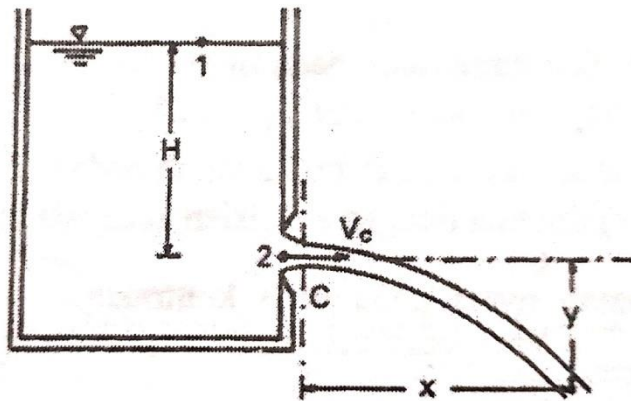
## 2.7 Aliran Melalui Lubang Kecil

Menurut White(2009) Pintu Sorong adalah bukaan bawah dinding pada saluran yang digunakan untuk mengendalikan sungai atau saluran.



Gambar 9 Aliran Bebas pada Pintu Sorong

Gambar 9 menunjukkan zat cair yang mengalir melalui lubang kecil dari suatu tangki. Pusat lubang terletak pada jarak  $H$  dari muka air. Tekanan pada vena kontrakta adalah atmosfer. Dengan menggunakan persamaan Bernoulli pada permukaan zat cair di kolam dan di vena kontrakta, kecepatan zat cair pada titik tersebut dapat dihitung.



Gambar 10 Lobang Kecil

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_c + \frac{p_c}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} \dots \dots \dots (16)$$

Oleh karena kecepatan di titik 1 adalah nol dan tekanan di titik 1 dan C adalah atmosfer, maka :

$$z_1 = z_c + \frac{V_c^2}{2g}$$

$$V_c^2 = 2g(z_1 - z_c)$$

atau

$$V_c = \sqrt{2gH}$$

Rumus tersebut menunjukkan kecepatan aliran teoritis pada zat cair ideal. Pada zat cair riil, terjadi kehilangan tenaga yang disebabkan oleh kekentalan. Untuk itu perlu dimasukkan koefisien kecepatan  $C_v$  sehingga :

$$V_c = C_v \sqrt{2gH}$$

Debit aliran adalah  $Q = a_c V_c$  di mana  $a_c$  adalah luasampang aliran di vena kontrakta. Luas penampang pada titik C adalah pada titik C adalah lebih kecil dari luas lubang. Dengan memperhitungkan koefisien kontraksi :

$$C_c = \frac{a_c}{a}$$

Atau

$$a_c = C_c a$$

Maka debit aliran menjadi :

$$Q = a_c V_c = C_c a C_v \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (17)$$

Atau

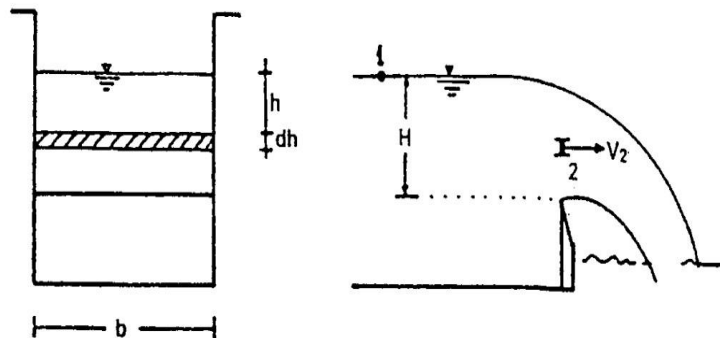
$$Q = C_d a \sqrt{2gH}$$

Dimana  $C_d$  adalah Koefisien debit.

Persamaan (9.3) dapat digunakan untuk mengukur debit aliran untuk semua zat cair dan berbagai bentuk lubang kecil. Tetapi koefisien  $C_d$  harus ditentukan dengan percobaan.

## 2.8 Debit Aliran Melalui Peluap Segiempat

Menurut Triatmodjo (1993), dikatakan sebagai peluap segiempat apabila air yang mengalir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Dalam gambar tersebut  $H$  adalah tinggi peluapan atau tinggi air di atas peluap,  $b$  adalah lebar peluap, dan  $C_d$  adalah koefisien debit. Dipandang suatu pias horizontal setebal  $dh$  pada kedalaman  $h$  dari muka air.



Gambar 11 Peluap Segiempat

Dengan menggunakan persamaan di bawah apabila di sebuah hulu peluap berupa kolam besar sehingga  $V_1=0$ , dan tekanan pada pias adalah tekanan atmosfer, maka:

$$V_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2)} = \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (18)$$

Luas Pias adalah

$$dA = b dh \dots \dots \dots (19)$$

Debit melalui pias adalah

$$dQ = V_2 dA = \sqrt{2gh} b dh \dots \dots \dots (20)$$

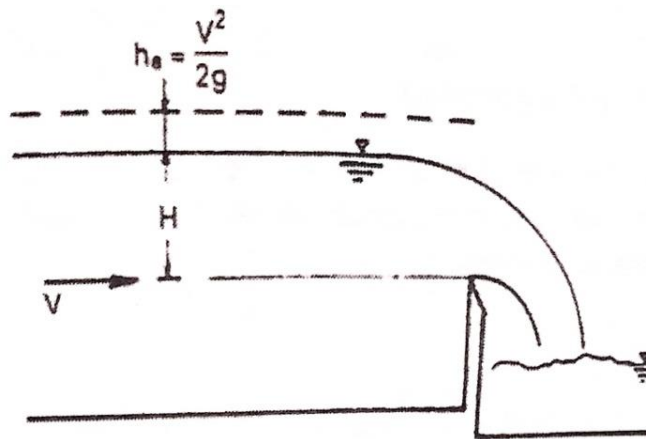
$$= b\sqrt{2g} h^{1/2} dh$$

Debit total melalui seluruh peluap dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan di atas dari  $h = 0$  pada muka air sampai  $h = H$  pada puncak ambang.

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} H^{3/2} \dots\dots\dots(21)$$

Apabila air yang melalui peluap mempunyai kecepatan awal maka dalam rumus debit tersebut, tinggi peluapan harus ditambah dengan tinggi kecepatan  $h_0 = V^2/2g$ , Sehingga debit aliran menjadi :

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} [(H + h_0)^{3/2} - h_a^{3/2}]$$



Gambar 12 Peluap segiempat dengan kecepatan awal