

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMEN TERHADAP PERUBAHAN MUKA AIR
AKIBAT PENYEMPITAN PENAMPANG PADA SALURAN
TERBUKA**

Disusun dan diajukan oleh:

**FENY PUTRI FATHIA
D011 19 1083**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**STUDI EKSPERIMEN TERHADAP PERUBAHAN MUKA AIR
AKIBAT PENYEMPITAN PENAMPANG PADA SALURAN
TERBUKA**

Disusun dan diajukan oleh

Feny Putri Fathia
D011 19 1083

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 17 Mei 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ir. Rita Tahr Lopa, MT
NIP 196703191992032010

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 : Feny Putri Fathia

NIM : D011 19 1083

Program Studi : Teknik Sipil

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimen Terhadap Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan
Penampang Pada Saluran Terbuka}

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, 17 Mei 2023

Menyatakan



Feny Putri Fathia

ABSTRAK

FENY PUTRI FATHIA. *Studi Eksperimen Terhadap Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan Penampang Pada Saluran Terbuka* (dibimbing oleh Dr.Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT dan M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng)

Penyempitan penampang pada saluran terbuka menyebabkan terjadinya perubahan tinggi muka air dan kecepatan aliran. Perubahan aliran tersebut akan berpengaruh pada kelancaran aliran dalam saluran yang berdampak pada terganggunya distribusi air. Kenyataan ini perlu mendapat perhatian, sehingga pembahasan aliran dengan penyempitan saluran dalam tulisan ini mencoba mengurai permasalahan tersebut melalui pengukuran dan pengujian pada saluran terbuka dengan adanya penyempitan. Tujuan penelitian adalah menganalisis dampak penyempitan penampang terhadap tinggi muka air dan kecepatan pada saluran terbuka. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan bahan dan alat berupa air, flume, current meter dan 2 model penyempitan yang berbeda. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental pada flume tanpa penyempitan dan dengan 2 model penyempitan yaitu 3 cm dan 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saluran tanpa penyempitan, semakin besar suatu debit aliran maka semakin tinggi kecepatan aliran dan muka airnya. Sedangkan pada saluran dengan penyempitan 5 cm dan 3 cm, semakin besar penyempitan penampang dan debit maka semakin rendah tinggi muka air dan semakin tinggi kecepatan aliran.

Kata Kunci : Penyempitan Saluran, Tinggi Muka Air, Kecepatan Aliran

ABSTRACT

FENY PUTRI FATHIA. *Experimental Study of Water Level Changes Due to Cross-Section Narrowing in Open Channels* (supervised by Dr.Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT and M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng)

The narrowing of the cross section of the open channel causes a change in water level and flow velocity. Changes in flow will affect the smooth flow in the channel which has an impact on disrupting the distribution of water. This fact needs attention, so that the discussion of flow with channel narrowing in this paper tries to unravel this problem through measurement and testing on open channels with narrowing. The aim of this research is to analyze the impact of the narrowing of the cross section on the water level and velocity in open channels. This research was carried out at the Hydraulics Laboratory, Faculty of Engineering, Hasanuddin University with materials and tools in the form of water, flume, current meter and 2 different narrowing models. The method used is an experimental method on a flume without narrowing and with 2 narrowing models, namely 3 cm and 5 cm. The results showed that in the channel without narrowing, the greater the flow rate, the higher the flow velocity and water level. Whereas in the channel with a narrowing of 5 cm and 3 cm, the greater the narrowing section and the discharge, the lower the water level and the higher the flow velocity.

Keywords: Channel Narrowing, Water Level, Flow Velocity

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
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	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Aliran Saluran Terbuka	4
2.2 Geometri Saluran	7
2.3 Penyempitan Saluran.....	8
2.4 Metode Pengukuran	10
2.4.1 Velocity-Area Method.....	10
2.4.2 Float Area Method.....	11
2.4.3 Metode Continue.....	12
2.5 Klasifikasi Aliran	14
2.5.1 Berdasarkan Fungsi Waktu.....	14
2.5.2 Berdasarkan Fungsi Ruang.....	15
2.5.3 Berdasarkan Bilangan Froude dan Gaya Gravitasi Bumi.....	15
2.6 Persamaan Aliran Saluran Terbuka.....	16
2.6.1 Kecepatan dan Debit Aliran.....	16
2.6.2 Bilangan Reynolds.....	17
2.7 Energi Spesifik	19
2.8 Kasus Penyempitan Penampang Pada Saluran Terbuka	23
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Bagan Alir Penelitian	30
3.2 Lokasi Penelitian.....	31
3.3 Metode Penelitian dan Sumber Data.....	31
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Perhitungan Debit.....	36
4.2 Perhitungan Tinggi Muka Air	36
4.2.1 Tinggi Muka Air Pada Q1.....	38
4.2.2 Tinggi Muka Air Pada Q2.....	38

4.2.3 Tinggi Muka Air Pada Q3.....	39
4.3 Perhitungan Kecepatan Aliran	40
4.3.1 Kecepatan Aliran Pada Q1.....	41
4.3.1 Kecepatan Aliran Pada Q2.....	42
4.3.2 Kecepatan Aliran Pada Q3.....	42
4.4 Perhitungan Bilangan Froude.....	43
4.4.1 Perhitungan Bilangan Froude Pada Q1.....	44
4.4.2 Perhitungan Bilangan Froude Pada Q2.....	44
4.4.3 Perhitungan Bilangan Froude Pada Q3.....	45
4.5 Analisis Perhitungan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Penampang saluran persegi panjang	7
Gambar 2. Bentuk-bentuk saluran terbuka (a) Trapesium, (b) Persegi, (c) Segitiga, (d) Setengah lingkaran, (e) Tak beraturan.....	8
Gambar 3. Sketsa aliran yang melalui penyempitan, (Menurut Tracy dan Carter, 1965 dalam Budi, S, 1998). (a) Denah; (b) tampak tegak; (c) tampak tegak, dengan asumsi kehilangan energi akibat gesekan = 0.....	10
Gambar 4. Menghitung luas dengan mean section	12
Gambar 5. Menghitung luas dengan mid section.....	13
Gambar 6. Klasifikasi aliran pada aluran terbuka.....	15
Gambar 7. Aliran laminar	18
Gambar 8. Aliran transisi	18
Gambar 9. Aliran turbulen	19
Gambar 10. Aliran Laminer, (b) Aliran Transisi dan (c) Aliran Turbulen	19
Gambar 11. Parameter energi spesifik. <i>Sumber: Robert J.K., 2002</i>	20
Gambar 12. Kurva Energi Spesifik. <i>Sumber: Ven Te Chow, 1985</i>	21
Gambar 13. Profil aliran melalui penyempitan. <i>Sumber Ven Te Chow, 1992</i>	22
Gambar 14. Bagan alir penelitian.....	30
Gambar 15. Lokasi penelitian (Sumber : Google Earth).....	31
Gambar 16. Desain tampang samping pada flume.....	32
Gambar 17. Desain tampang atas pada flume dengan penyempitan.....	32
Gambar 18. Model 1 dengan lebar saluran 5 cm	33
Gambar 19. Model 2 dengan lebar saluran 3 cm	33
Gambar 20. Titik tinjau pengukuran tinggi muka air dan kecepatan.....	35
Gambar 21. Pengukuran volume air dan tinggi muka air	35
Gambar 23. TMA pada Q1.....	38
Gambar 24. TMA pada Q2.....	38
Gambar 25. TMA pada Q3.....	39
Gambar 26. Kecepatan aliran pada Q1, Q2 dan Q3	41
Gambar 27. Kecepatan aliran pada Q2	42
Gambar 28. Kecepatan aliran pada Q3	42
Gambar 29. Bilangan froude pada Q1.....	44
Gambar 30. Bilangan froude pada Q2.....	44
Gambar 31. Bilangan froude setelah penyempitan pada Q3.....	45
Gambar 32. Referensi no. 3 hubungan bilangan Froude dan kedalaman hidrolis	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Persentase Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya Tampung Sistem Drainase Mikro di Kecamatan Banjarmasin Selatan.....	24
Tabel 2. Perbandingan Debit Banjir Kala Ulang 10 tahun dengan Kapasitas Saluran untuk Saluran Drainase Sub Makro	25
Tabel 3. Perbandingan Debit Banjir Kala Ulang dengan Kapasitas Saluran untuk Saluran Drainase Mikro Sub DAS Kali Caban	26
Tabel 4. Perhitungan Debit Saluran Existing	28
Tabel 5. Debit Existing Terhadap Debit Banjir Kala Ulang 10 Tahun	28
Tabel 6. Rancangan penelitian	33
Tabel 7. Pengukuran debit takar.....	36
Tabel 8. Data TMA tanpa penyempitan.....	36
Tabel 9. Data TMA dengan penyempitan 2,6 cm = lebar saluran 5 cm	37
Tabel 10. Data TMA dengan penyempitan 4,6 cm = lebar saluran 3 cm	37
Tabel 11. Data kecepatan aliran tanpa penyempitan.....	40
Tabel 12. Data kecepatan aliran dengan penyempitan 2,6 cm = lebar saluran 5 cm.....	41
Tabel 13. Data kecepatan aliran dengan penyempitan 4,6 cm= lebar saluran 3 cm.....	41
Tabel 14. Hasil validasi debit aliran masuk penyempitan tanpa ambang	46
Tabel 15. Hasil validasi debit aliran masuk penyempitan dengan ambang	47
Tabel 16. Ketinggian air untuk tiap variasi debit dan penyempitan	49

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas penampang (m ²)
P	Keliling Basah (m)
R	Jari-jari Hidrolik (m)
b	Lebar Dasar Saluran (m)
h	Tinggi Kedalaman (m)
h _c	Kedalaman Kritis (m)
g	Percepatan Gravitasi (m ² /det)
B _c	Lebar Kritis (m)
E _s	Energi Spesifik (m)
Q	Debit (m ³ /det)
Fr	Bilangan Froude
V	Kecepatan (m/det)
T	Lebar Atas (m)
D	Kedalaman Hidrolik (m)
n	Koefisien Kekasaran Manning
Re	Bilangan Reynolds
V	Kecepatan (m/det)
v	Kekentalan kinematik (m ² /det)
μ	Kekentalan dinamik (kg/mdet)
ρ	Kerapatan air (kg/m ³)
S	Kemiringan
K	Koefisien Pelampung
A	Kedalaman Pelampung
$V^2/2g$	Tinggi Kecepatan (m)
α	Koefisien Energi
H	Tinggi Energi

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
z	Tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (m)
Qah	Debit Banjir Rancangan (m^3/det)
Qd	Debit Dimensi Saluran (m^3/det)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah Subhanahu wata'ala, maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT., IPM., ASEAN.En., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Ibu Dr.Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT., selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. Bapak M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk meberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Saleh Pallu M.Eng. selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Depatemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis pesembahkan kepada :

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda Sulfadli Aliah S.H, M.H dan ibu Fitria Anwar, beserta seluruh keluarga, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun materi.
2. Saudara-saudari tercinta Elwinda Djafar dan Sitti Nur Amalia Bau yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Pak Erwin Affandy dan Pak Ahmad sebagai Laboran Laboratorium Hidrolika, yang selalu senantiasa meluangkan waktu untuk penulis, selama proses penelitian dan penyelesaian tugas akhir.
4. Seluruh rekan-rekan di Laboratorium Hidrolika, yang senantiasa memberikan semangat dan memberi warna kebersamaan di Lab.
5. Teman-teman KKN PUPR dan Stunting 108, terima kasih atas canda tawa, jalan- jalan dan pengalamannya.
6. Saudara-saudariku seangkatan 2019 Teknik Sipil dan Lingkungan, PORTLAND 2020, terkhusus Muh. Syahrul Ihsan, Armin Nur Fajar, dan Nadya Zulfia. *We are the Champion Keep on Fighting Till the End.*

Gowa, 17 Mei 2023

Penulis

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan mekanika aliran, aliran dibagi menjadi dua macam yaitu aliran saluran terbuka dan aliran saluran tertutup. Perbedaan diantara keduanya ialah pada saluran terbuka alirannya mengalir dengan permukaan bebas, sedangkan pada saluran tertutup yaitu dipenuhinya seluruh penampang oleh cairan sehingga alirannya tidak berada pada permukaan yang bebas. Dibandingkan dengan saluran tertutup, saluran terbuka yang terhubung langsung dengan atmosfer memiliki karakteristik aliran yang lebih kompleks dan variable alirannya cenderung tidak teratur tergantung pada ruang dan waktu. Saluran terbuka dibagi menjadi saluran terbuka alami dan buatan. Model saluran terbuka alami yang umum dijumpai adalah sungai dan model saluran terbuka buatan sering diterapkan pada kehidupan sehari-hari mulai dari irigasi, selokan, dan kanal karena proses pembuatannya sendiri sederhana serta tidak membutuhkan biaya yang besar.

Terdapat banyak hal yang menyebabkan terjadinya ketidakstabilan aliran air terutama pada aliran saluran terbuka. Salah satunya adalah akibat terjadinya perubahan penampang pada saluran air. Pada masa kini akibat adanya perubahan infrastruktur di berbagai tempat dimana sebagian di antaranya mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk saluran aliran baik itu alami maupun buatan sebagai upaya memudahkan pekerjaan dan aktifitas masyarakat. Oleh karena itu, aliran yang mengalami penyempitan saluran tersebut akan mengalami perubahan tinggi muka air dan kecepatan aliran. Mengacu pada hukum kontinuitas, kecepatan aliran dapat meningkat apabila terjadi penyempitan terhadap lebar penampang.

Pada penelitian ini digunakan model fisik penampang berupa penampang persegi dengan aliran seragam, kemudian nanti akan dilakukan penyempitan pada penampang saluran pada jarak tertentu. Aliran seragam merupakan aliran yang memiliki kedalaman yang sama pada tiap bagian penampangnya dalam kurun waktu tertentu. Aliran air yang awalnya seragam atau konstan apabila terjadi

perubahan penampang akan berdampak pada alirannya. Akibatnya, karakteristik aliran pada saluran tersebut akan berubah dan berpengaruh terhadap tinggi muka air dan kecepatan aliran.

Metode penelitian yang akan digunakan merupakan eksperimental dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Berdasarkan uraian-uraian diatas maka perlu dilakukan penelitian tentang perubahan muka air akibat adanya perubahan penampang pada saluran terbuka sebagai bentuk penelitian bagaimana pengaruh adanya penyempitan pada saluran terbuka terhadap aliran air pada saluran aliran alami dan buatan di Indonesia.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

“Studi Eksperimen Terhadap Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan
Penampang Pada Saluran Terbuka”

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang di kaji dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kondisi tinggi muka air dan kecepatan aliran sebelum, saat dan setelah penyempitan?
2. Bagaimana pengaruh variasi model penampang terhadap tinggi muka air dan kecepatan aliran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam eksperimental saluran terbuka terhadap karakteristik aliran akibat adanya hambatan ini sebagai penerapan ilmu hidrolika. Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kondisi tinggi muka air dan kecepatan aliran sebelum, saat dan setelah penyempitan.
2. Menganalisis pengaruh variasi model penampang terhadap tinggi muka air dan kecepatan aliran.

1.4 Manfaat Penelitian

Secara teoritis, manfaat dari penelitian ini yaitu untuk meningkatkan pemahaman terkait pengaruh hambatan terhadap perubahan karakteristik aliran pada saluran terbuka, sehingga dapat dijadikan pertimbangan maupun acuan dalam desain teknis saluran khususnya pada sistem drainase di lingkungan pemukiman yang terjadi penyempitan pada salurannya.

1.5 Ruang Lingkup

Untuk mempermudah pembahasan terkait dengan rumusan masalah yang diajukan serta mengurangi kerancuan dalam pengkajian masalah yang terkandung dalam penelitian tugas akhir ini tidak meluas dan dapat terarah sesuai dengan tujuan dari pembuatan skripsi ini, maka permasalahan yang dibahas dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan 3 tipe saluran, yaitu saluran tanpa penyempitan dan saluran menggunakan 2 model penampang penyempitan berbentuk persegi dengan penyempitan sebesar 2,6 cm dan 4,6 cm sebagai objek sebab perubahan karakteristik aliran pada aliran di saluran terbuka.
2. Penelitian menggunakan flume sebagai tempat aliran percobaan penelitian.
3. Media saluran terbuka terbuat dari kaca dengan dinding halus, pengujian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aliran Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran yang dipengaruhi oleh gravitasi dan permukaan alirannya bersifat bebas. Aliran pada saluran terbuka akan mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah. Dimana dalam hal ini akan terbentuk energi pada alirannya yaitu energi hidrolis yang berupa energi potensial, energi kinetik dan energi tekanan yang disertai oleh kehilangan tinggi tekan akibat gesekan hf (Lucio Canoinica, 2013).

Berdasarkan asal dan bentuk suatu saluran aliran, terdapat saluran aliran alami (*natural*) dan saluran aliran buatan (*artificial*). Saluran alami merupakan seluruh saluran yang terbentuk secara alami tanpa adanya campur tangan manusia dan memiliki peran penting dalam menjaga siklus hidrologi pada suatu wilayah. Pada saluran buatan, struktur salurannya dibuat oleh manusia yang biasanya dilengkapi bangunan air dengan tujuan dapat memudahkan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari, misalnya sebagai pembangkit listrik, irigasi, industri dan lainnya. Akibat dari struktur buatan ini maka akan tercipta penampang aliran yang dapat diatur manual dan lebih mudah untuk dianalisa karakteristik alirannya. Namun sejatinya, baik itu alami maupun buatan pasti suatu saluran memiliki belokan di sepanjang alur. Perubahan karakteristik aliran sebelum dan sesudah belokan dapat disebabkan oleh belokan yang terdapat pada saluran, yang dimana alirannya dipengaruhi oleh gaya sentrifugal akibat dari kelengkungan aliran, ketidakseragaman kecepatan tampang vertikal, tekanan pada potongan dan gradient tekanan arah radial yang disebabkan oleh kemiringan lateral permukaan air.

Berikut adalah contoh saluran aliran alami dan buatan.

a. Sungai

Sungai adalah tempat dan wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi oleh garis sempadan (Peraturan Menteri PUPR No.28/PRT/M/2015 Tahun 2015). Sungai mengalir dari hulu

dalam kondisi kemiringan lahan yang curam berturut-turut menjadi agak curam, agak landai, dan relatif rata. Arus relatif cepat di daerah hulu dan bergerak menjadi lebih lambat dan makin lambat pada daerah hilir. Sungai merupakan tempat berkumpulnya air di lingkungan sekitarnya yang mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Daerah sekitar sungai yang mensuplai air ke sungai dikenal dengan daerah tangkapan air atau daerah penyangga. Kondisi suplai air dari daerah penyangga dipengaruhi aktivitas dan perilaku penghuninya (Wardhana, 2001). Sungai sebagai sumber air merupakan salah satu sumberdaya alam yang mempunyai fungsi serba guna bagi kehidupan dan penghidupan manusia.

Menurut Masduqi, dkk (2009) ada dua fungsi utama sungai secara alami yaitu mengalirkan air dan mengangkat sedimen hasil erosi pada Daerah Aliran Sungai dan alurnya (*Self Purification*). Kedua fungsi ini terjadi bersamaan dan saling mempengaruhi.

b. Drainase

Drainase adalah suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut. Maksud dan tujuan drainase adalah membuang air di atas permukaan tanah yang berlebihan, menurunkan dan menjaga permukaan air agak tidak terjadi genangan, sehingga akibat negatif dengan adanya genangan dan luapan air dapat dihindari (Suhardjono, 1981). Secara umum, sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Diurut dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*inceptor*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*convenyor drain*), saluran induk (*main drain*) dan badan penerima air (*receiving waters*).

Apabila ditinjau dari fungsinya macam-macam drainase adalah sebagai berikut :

1. Drainase pertanian adalah sistem drainase yang direncanakan pada areal pertanian untuk mencegah terjadinya banjir yang menimbulkan kerusakan atau kematian tanaman.
2. Drainase perkotaan adalah sistem drainase di daerah perkotaan atau permukiman untuk mencegah terjadinya banjir yang menimbulkan kerusakan atau kerugian dan terganggunya aktivitas kehidupan.
3. Drainase pusat industri adalah sistem drainase yang biasanya dititik beratkan pada usaha mencegah terjadinya polusi atau pencemaran air buangan.
4. Drainase jalan raya atau lapangan terbang adalah sistem drainase yang direncanakan pada sisi kiri atau kanan jalan raya dan landasan (*run way*) agar tidak terjadi banjir yang mengganggu lalu lintas atau membahayakan penerbangan dan merusak konstruksi badan jalan.

Ditinjau dari cara pengalirannya, drainase dibedakan menjadi:

1. Sistem gravitasi adalah saluran drainase yang mengalirkan air dengan memanfaatkan perbedaan tinggi tempat (gaya gravitasi).
2. Sistem pompa adalah sistem drainase yang menggunakan tenaga pompa untuk membuang air.

c. Irigasi

Irigasi merupakan bangunan air yang berupa saluran dan berfungsi menyalurkan air dari bendung ke petak secara periodik, guna mencukupi kebutuhan air bagi tanaman di petak sawah. Air merupakan salah satu faktor penentu dalam proses produksi pertanian. Oleh karena itu investasi irigasi menjadi sangat penting dan strategis dalam rangka penyediaan air untuk pertanian. Dalam memenuhi kebutuhan air untuk berbagai keperluan usaha tani, maka air (irigasi) harus diberikan dalam jumlah, waktu, dan mutu yang tepat, jika tidak maka tanaman akan terganggu pertumbuhannya yang pada gilirannya akan mempengaruhi produksi pertanian (Purwanto, Jazaul. 2014).

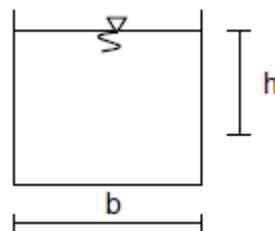
Sistem irigasi yang baik akan memberikan hasil yang maksimal. Sistem irigasi jika ditinjau dari proses penyediaan, pemberian, pengelolaan,

dan pengaturan air, sistem irigasi dapat dibagi menjadi empat kategori (Sudjarwadi, 1987), yaitu :

1. Irigasi permukaan, salah satu yang termasuk dalam sistem ini ialah penggenangan
2. Irigasi bawah permukaan, salah satu pemberian air dengan cara resapan
3. Irigasi dengan pemancaran, sistem ini dengan cara memancarkan air ke udara, kemudian air jatuh ke permukaan tanah
4. Irigasi dengan tetesan, sistem ini menggunakan pipa-pipa dan tempat tertentu diberi lubang untuk jalan keluar air menetes pada tanah.

2.2 Geometri Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Istilah penampang saluran (*channel section*) adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertikal saluran (*vertical channel section*) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang. Oleh sebab itu pada saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertikal.



Gambar 1 Penampang saluran persegi panjang

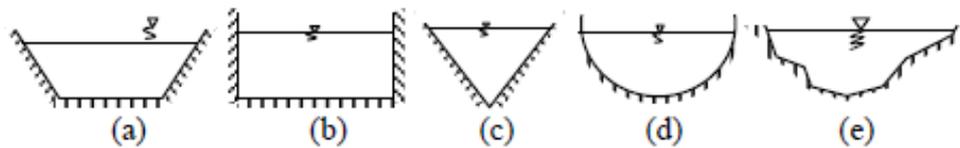
$$\text{Luas (A)} = b \times h \quad (2.1)$$

$$\text{Keliling Basah (P)} = b + 2h \quad (2.2)$$

$$\text{Jari-jari Hidrolik (R)} = \frac{bh}{b+2h} \quad (2.3)$$

dengan b = lebar dasar saluran dan h = tinggi kedalaman air.

Ada beberapa bentuk dari penampang saluran terbuka antara lain penampang bentuk trapesium, penampang bentuk persegi panjang, penampang bentuk segitiga, penampang bentuk parit dangkal, dan penampang saluran alam yang tidak beraturan.



Gambar 2 Bentuk-bentuk saluran terbuka (a) Trapesium, (b) Persegi, (c) Segitiga, (d) Setengah lingkaran, (e) Tak beraturan.

2.3 Penyempitan Saluran

Peristiwa penyempitan saluran biasanya umum dijumpai pada saluran terbuka. Penyempitan ini terdiri atas area penyempitan penampang lintang saluran secara mendadak. Penyempitan saluran dipengaruhi oleh adanya faktor geometri (bentuk) bagian lengkungan masuk penyempitan, kecepatan aliran dan keadaan aliran (Ven Te Chow, 1992).

Berdasarkan kecepatan aliran, terdapat aliran subkritis dan superkritis pada aliran yang melalui area penyempitan. Pada aliran subkritis, akan terjadi efek pembendungan yang meluas ke arah hulu akibat adanya penyempitan saluran. Sedangkan pada saluran superkritis, akan menimbulkan perubahan ketinggian permukaan air yang tidak meluas ke arah hulu didekat penyempitan. Apabila kedalaman kritis lebih kecil dibandingkan kedalaman air di penyempitan, maka perluasan genangan air ke arah hulu hanya terjadi pada jarak yang dekat dan akan terjadi suatu loncatan hidrolis dibagian akhir efek pembendungan. Kedalaman kritis dapat dirumuskan sebagai berikut (Henderson, 1966 dalam Budi S, 1988):

$$hc = \frac{2}{3} E \quad (2.4)$$

Sedangkan

$$hc = \sqrt[3]{\frac{QC}{BC} \frac{1}{g}} \quad (2.5)$$

Sehingga

$$Bc = 1,84 \frac{Q}{E^{3/2} g^{1/2}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

Q = Debit air (m³/det),

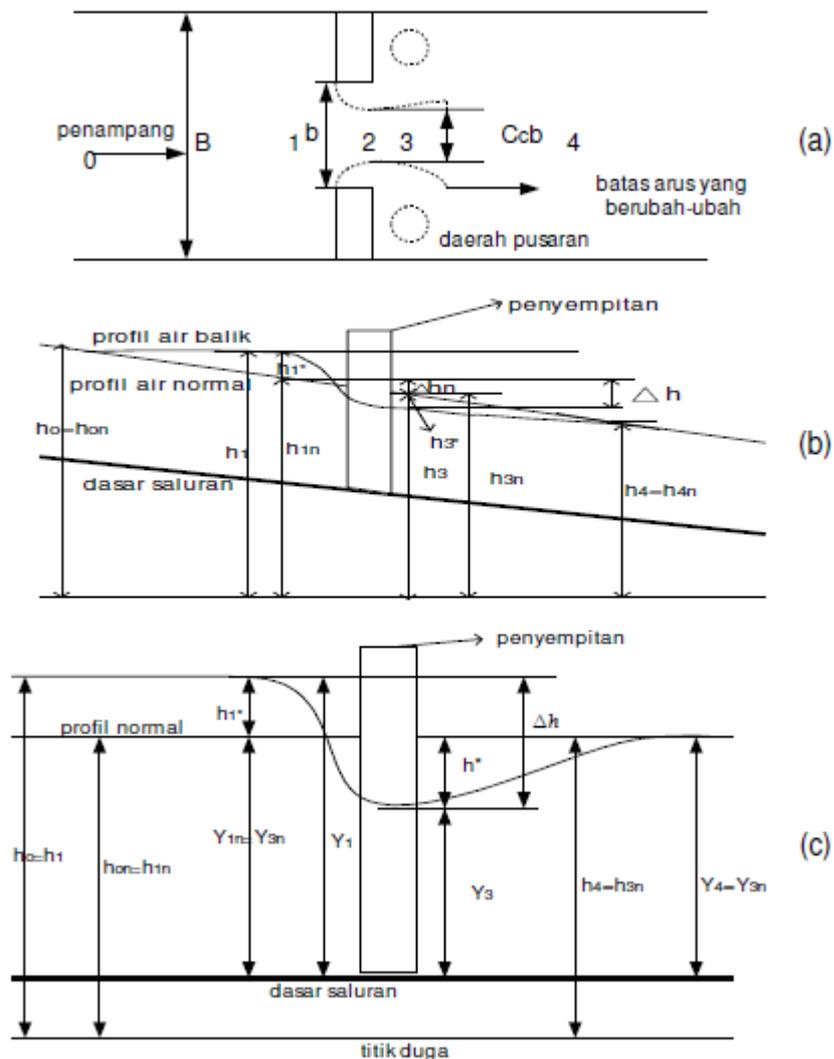
Bc = Lebar kritis (m)

Es = Energi spesifik (m)

hc = Kedalaman kritis (m)

g = Percepatan gravitasi (m²/det).

Aliran kritis disebabkan oleh adanya kedalaman air yang didefinisikan sebagai kedalaman kritis. Besarnya perbandingan antara energi aliran normal Es_n dengan energi aliran kritis Es_{kr} akan mempengaruhi terjadi atau tidaknya penampang kritis (penampang saat aliran dalam kondisi kritis) pada penyempitan. Pada Gambar 3 tampak terjadi kemiringan kecil pada penyempitan di saluran terbuka. Genangan air yang berawal di bagian masuk penyempitan dan berakhir pada penampang 0 menimbulkan efek pembendungan. Kecepatan aliran akan berubah secara perlahan-lahan diantara titik 0 sampai 1. Pada penampang 1, aliran mulai masuk bagian penyempitan yang menyebabkan meningkatnya kecepatan aliran kemudian akan menurun setelah keluar dari penyempitan. Pada bagian akhir penyempitan, keadaan aliran akan berubah secara drastis yang ditandai dengan terjadinya percepatan pada arah tegak lurus dan sejajar garis arus. Selain kecepatan yang berubah secara drastis, di area ini juga menyebabkan terjadinya permukaan air yang turun secara drastis sehingga arusnya berada dalam kondisi berubah-ubah. Diantara arus yang berubah-ubah dengan bagian akhir penyempitan terdapat daerah yang memisahkannya yang disebut sebagai pusaran air. Pada penampang 2, terjadi perubahan arus yang mengalir melalui penyempitan mencapai lebar minimum. Kemudian setelah keluar dari area penyempitan yaitu diantara penampang 3 dan 4, aliran yang sebelumnya berubah-ubah perlahan akan menjadi aliran seragam pada penampang 4. Kehilangan energi total sama dengan energi total seragam, apabila aliran pada penampang 0 sampai 4 telah konstan.



Gambar 3 Sketsa aliran yang melalui penyempitan, (Menurut Tracy dan Carter, 1965 dalam Budi, S, 1998). (a) Denah; (b) tampak tegak; (c) tampak tegak, dengan asumsi kehilangan energi akibat gesekan = 0.

2.4 Metode Pengukuran

2.4.1 Velocity-Area Method

Pengukuran debit dengan Area velocity method adalah metode yang sering digunakan pada saluran terbuka. Pengukuran debit menggunakan alat flow meter dan current meter merupakan pendekatan Velocity-area method, dimana dilakukan pengukuran luas penampang dan kecepatan aliran. Flow meter merupakan alat yang berbentuk *propeller* dimana terdapat dua bagian yaitu alat

utama (*primary device*) berupa transmitter/pemancar dan alat bantu sekunder (*secondary device*) berupa transduce/konverter. Fungsi dari alat utama adalah untuk menghasilkan suatu signal yang merespon terhadap aliran karena laju aliran tersebut telah terganggu dan fungsi dari alat sekunder adalah untuk menerima sinyal dari alat utama lalu menampilkan, merekam, dan/atau mentransmisikannya sebagai hasil dari laju aliran. Sama halnya dengan flow meter, current meter juga berbentuk *propeller* yang dimana jumlah putaran *propeller* per satuan waktu apabila dikalikan dengan kalibrasi *propeller* tersebut maka akan didapat besar kecepatan arus yang diukur saat itu.

Persamaan matematis yang digunakan dalam pengukuran debit ini yaitu:

$$Q = V \times A \quad (2.7)$$

Dimana:

Q = Debit (m³/det)

V = Kecepatan rata-rata (m/det)

A = Luas penampang basah (m²)

2.4.2 Float Area Method

Float area method atau pengukuran debit dengan cara apung merupakan metode sederhana dalam mengukur laju aliran menggunakan pelampung dengan mengalikan luas penampang rata-rata dengan kecepatan aliran rata-rata. Keakuratan metode ini tergantung pada ketepatan perhitungan saat mengukur luas penampang, kecepatan aliran dan pemilihan koefisien koreksi. Umumnya metode ini biasa diterapkan pada bagian saluran yang lurus dengan penampang melintang yang cukup seragam.

Pengukuran lebar permukaan air dan kedalaman air dilakukan untuk mendapatkan nilai luas penampang basah (A), pengukuran kecepatan pelampung (U) untuk mendapatkan nilai kecepatan aliran (V), dan pengukuran lebar saluran (L) untuk mendapatkan nilai luas penampang (A).

Persamaan debit yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$Q = A \times k \times U \quad (2.8)$$

Dimana:

Q = Debit (/det)

U = Kecepatan pelampung (m/det)

A = Luas penampang basah sungai (m^2)

K = Koefisien pelampung

a = Kedalaman air (m)

Jenis pelampung yang digunakan mempengaruhi koefisien pelampungnya, sehingga nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Y.B. Francis) sebagai berikut:

$$k = 1 - 0,116 ((\sqrt{1 - \alpha}) - 0,1) \quad (2.9)$$

Dimana:

$$\alpha = \frac{\text{kedalaman tangkai (h)}}{\text{kedalaman air (d)}} = \text{kedalaman bagian pelampung} \quad (2.10)$$

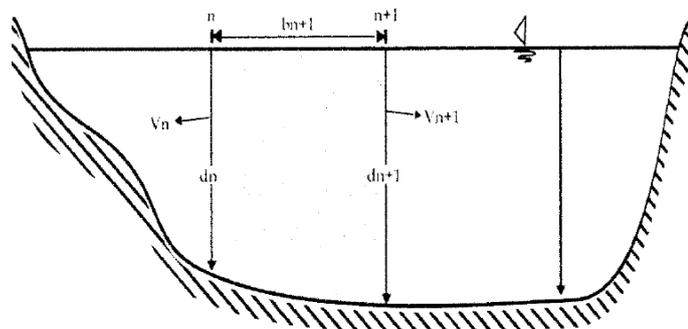
2.4.3 Metode Continue

Mirip dengan velocity area method yang menggunakan current meter dan flow meter sebagai alat pengukuran, namun prinsip pengukurannya cukup berbeda yaitu pengukuran secara vertikal dimana alat akan diturunkan pada kedalaman tertentu dengan kecepatan yang konstan, kemudian setelah mencapai dasar aliran maka akan diangkat kembali dengan kecepatan yang konstan pula.

Berikut adalah cara menghitung luas penampang melintang.

1. Mean Section Method

Metode pengukuran debit pada potongan melintang saluran dengan membagi beberapa segmen dan nilai daripada kecepatan saluran titik pertama dengan titik selanjutnya dirata-ratakan.



Gambar 4. Menghitung luas dengan mean section

a. Menghitung luas penampang:

$$a_n = \frac{d_n + d_{n+1}}{2} \times b_n \quad (2.11)$$

Dimana:

a_n = Luas seksi A

d_n = Kedalaman sungai ke n

d_{n+1} = Kedalaman sungai ke n+1

b_{n+1} = Lebar seksi n

b. Menghitung kecepatan:

$$\bar{V} = \frac{\bar{v}_n + \bar{v}_{n+1}}{2} \times d_n \quad (2.12)$$

Dimana:

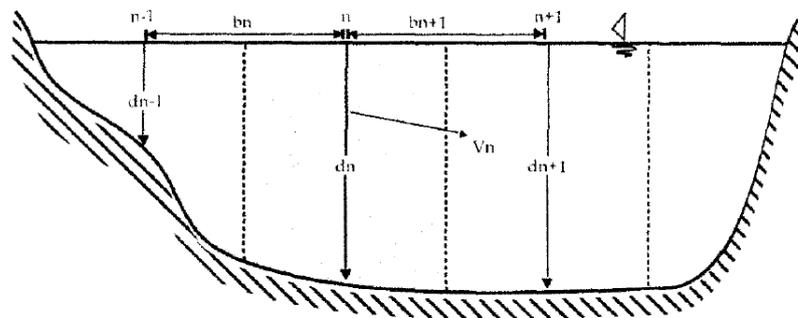
\bar{v}_n = Kecepatan rata-rata pada seksi ke n

\bar{V} = Kecepatan rata-rata pada penampang air.

\bar{v}_{n+1} = Kecepatan rata-rata pada kedalaman d_{n+1}

2. Mid Section Method

Metode pengukuran debit pada potongan melintang saluran dengan membagi beberapa segmen dan nilai daripada luas penampang basah titik pertama dengan titik selanjutnya dirata-ratakan.



Gambar 5. Menghitung luas dengan mid section

- a. Menghitung luas penampang:

$$a_n = \frac{b_n + b_{n+1}}{2} \times d_n \quad (2.13)$$

Dimana:

a_n = Luas seksi A

d_n = Kedalaman sungai ke n

b_{n+1} = Lebar seksi n

- b. Menghitung kecepatan:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2.14)$$

$$q_n = a_n \times \bar{v}_n + 1 \quad (2.15)$$

Dimana:

Q = Debit aliran

q_n = Debit seksi ke n

q_i = Debit seksi ke 1

$\bar{v}_n + 1$ = kecepatan rata-rata pada kedalaman d_{n+1}

2.5 Klasifikasi Aliran

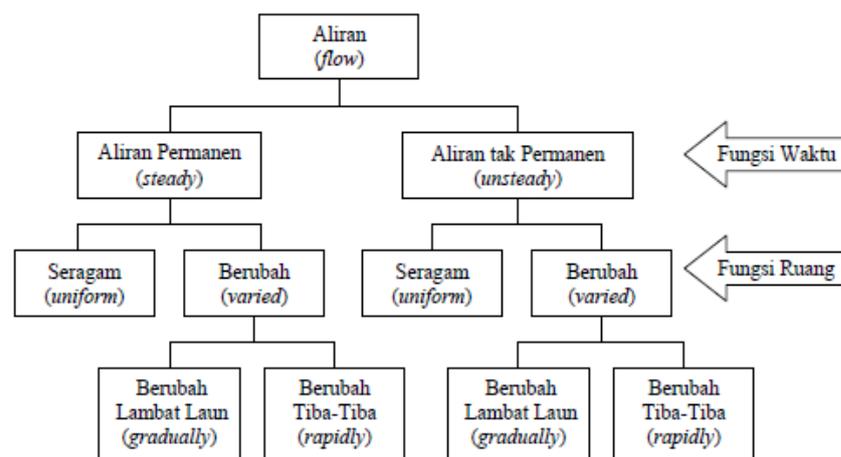
Berdasarkan kriteria yang digunakan aliran pada saluran terbuka diklasifikasikan menjadi:

2.5.1 Berdasarkan Fungsi Waktu

- Aliran tetap (*steady flow*) adalah aliran yang melintasi suatu penampang dengan debit, kedalaman dan volume aliran dalam kondisi konstan atau tetap terhadap waktu. Contoh: Saluran irigasi
- Aliran tak tetap (*unsteady flow*) adalah aliran yang melintasi suatu penampang dengan debit, kedalaman dan volume aliran mengalami perubahan atau tak tetap terhadap waktu. Contoh: Banjir

2.5.2 Berdasarkan Fungsi Ruang

- Aliran seragam (*uniform flow*) yaitu apabila di sepanjang saluran tersebut debit, kedalaman dan tampang basah pada jarak tertentu adalah konstan.
- Aliran tak seragam (*nonuniform flow or varied flow*) yaitu apabila di sepanjang saluran tersebut debit, kedalaman dan tampang basah pada jarak tertentu adalah berubah-ubah.
- Aliran berubah cepat/tiba-tiba (*rapidly varied*) adalah aliran tak seragam yang terjadi ketika kedalaman atau kecepatan aliran berubah tiba-tiba dalam jarak yang cukup pendek dan distribusi tekanan tidak hisrostatik.
- Aliran berubah beraturan (*gradually varied*) adalah aliran tak seragam yang terjadi ketika kedalaman atau kecepatan aliran berubah secara bertahap dalam jarak yang relatif panjang dan distribusi tekanan hisrostatik.



Gambar 6. Klasifikasi aliran pada aluran terbuka

2.5.3 Berdasarkan Bilangan Froude dan Gaya Gravitasi Bumi

Angka tanpa satuan atau nondimensional yang dijadikan sebagai parameter untuk mengukur rasio antara:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = \frac{V}{\sqrt{g\left(\frac{A}{T}\right)}} = \frac{Q}{\sqrt{g\left(\frac{A^3}{T}\right)}} \quad (2.16)$$

Keterangan:

Fr = Bilangan Froude

V = Kecepatan (m/det)

Q = Debit (m^3/det)

g = Percepatan gravitasi (m^2/det)

D = Kedalaman hidrolis (m)

A = Luas penampang aliran (m^2)

T = Lebar atas (m)

- a. Aliran kritis atau disebut juga sebagai aliran transisi terjadi apabila angka ($Fr = 1$) yang berarti gaya inersia dan gaya gravitasi berada dalam keadaan seimbang.
- b. Aliran subkritis terjadi apabila kedalaman aliran lebih besar dari kedalaman kritis dan kecepatannya rendah sehingga alirannya cenderung lambat atau stabil ($Fr < 1$) serta didominasi oleh gaya gravitasi. Aliran ini biasa ditemui di lereng yang relatif datar.
- c. Aliran super kritis terjadi apabila kedalaman aliran lebih kecil dari kedalaman kritis dan kecepatannya tinggi sehingga alirannya cenderung cepat dan tidak stabil ($Fr > 1$) serta didominasi oleh gaya inersia. Aliran ini biasa ditemui di lereng yang relatif curam.

2.6 Persamaan Aliran Saluran Terbuka

2.6.1 Kecepatan dan Debit Aliran

Debit aliran adalah pergerakan air dalam bentuk volume yang mengalir pada suatu penampang melintang per satuan waktu. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi debit aliran yaitu faktor topografi, tanah, penggunaan lahan hutan dan non hutan, serta curah hujan di wilayah tersebut. Mengetahui bahwa saluran terbuka memiliki karakteristik aliran yang lebih kompleks dibandingkan saluran tertutup maka perlu diperhatikan pada saat pengukuran karakteristik alirannya, mulai dari Koefisien Manning (*Manning Coefficient*), energi spesifik, bilangan Reynolds sampai kehilangan energinya. Oleh karena itu, guna memperoleh data-data tersebut maka perlu dilakukan pengukuran debit terlebih dahulu. Selain memperoleh data guna mengetahui karakteristik aliran, data tersebut juga berfungsi untuk mengetahui potensi sumber daya air di wilayah DAS tersebut. Fungsi guna lahan seperti sistem irigasi, mengevaluasi ketersediaan air dan melakukan

pengawasan terhadap limpasan air secara berlebihan yang dapat mengakibatkan banjir adalah bentuk dari manfaat dilakukannya pengukuran debit pada suatu DAS.

Kecepatan aliran merupakan waktu yang dibutuhkan per jarak yang ditempuh oleh suatu partikel untuk berpindah dari satu tempat ke tempat yang lainnya (Anasiru, 2005). Rumus kecepatan aliran menurut kekasaran manning adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

V = Kecepatan Aliran (m/s)

R = Jari-jari hidraulik (m)

S = Kemiringan

n = Koefisien kekasaran Manning

2.6.2 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds memiliki peran penting dalam mengidentifikasi jenis aliran dalam mekanika fluida. Bilangan reynolds merupakan salah satu bilangan yang tidak berdimensi yang disebabkan oleh adanya beberapa gaya berupa gaya inersia, gravitasi dan viskositas. Sehingga keadaan alirannya dipengaruhi oleh kekentalan, gaya inersia dan gaya gravitasi.

$$Re = \frac{VR}{\nu} \quad (2.18)$$

Dimana:

Re = Bilangan reynolds

V = Kecepatan (m/det)

R = Jari-jari hidraulik (m)

ν = Kekentalan kinematik (m^2/det)

Persamaan kekentalan kinetik adalah sebagai berikut.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.19)$$

Dimana:

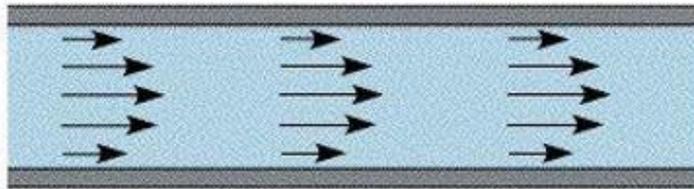
μ = Kekentalan dinamik (kg/mdet)

ρ = Kerapatan air (kg/m^3)

Terdapat 3 jenis aliran yang berbeda yaitu sebagai berikut.

a. Aliran Laminar

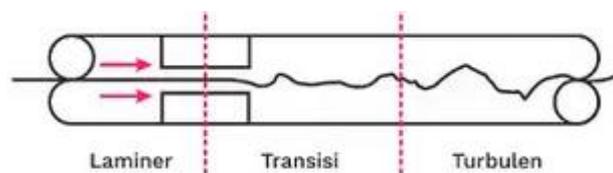
Aliran ini relatif memiliki kecepatan fluida yang rendah ($Re < 2100$). Pada saat gaya inersia yang terdapat pada suatu aliran lebih kecil dibandingkan dengan tahanan antara lapisan-lapisan zat cair, maka viskositasnya sangat menentukan sifat aliran. Apabila viskositas aliran dominan dan menyebabkan garis arusnya tampak lurus akibat partikel air yang bergerak secara teratur sesuai dengan arus maka aliran ini dikatakan laminar. Pada aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan yang halus dan lancar dengan kecepatan fluida rendah dan viskositasnya tinggi.



Gambar 7. Aliran laminar

b. Aliran Transisi

Aliran transisi disebut juga sebagai aliran peralihan dari aliran laminar menjadi aliran turbulen atau sebaliknya ($2100 < Re < 4200$). Aliran transisi akan berlangsung apabila terjadi perubahan pada viskositas atau kecepatan aliran.

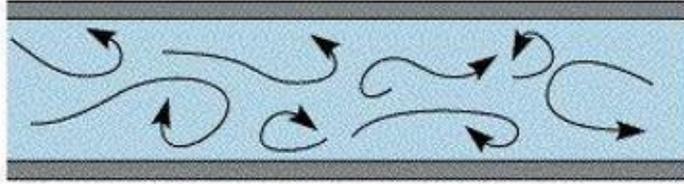


Gambar 8. Aliran transisi

c. Aliran Turbulen

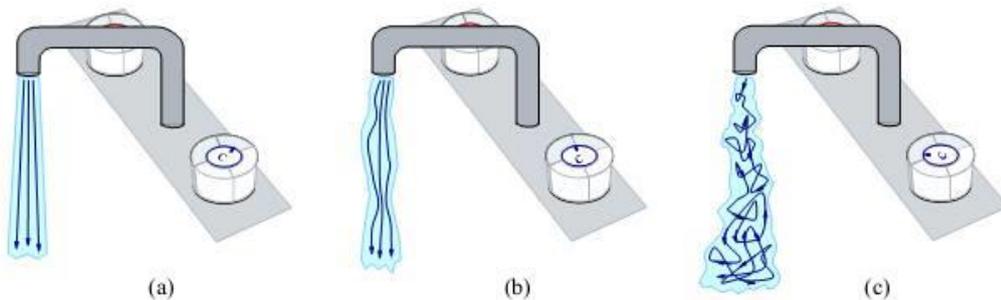
Pada aliran turbulen, gaya inersia yang dimiliki lebih kecil jika dibandingkan dengan tahanan antara lapisan-lapisan zat cair. Kecepatan fluida yang dimiliki aliran turbulen bernilai besar ($Re > 4200$) dan partikel-partikel

airnya bergerak secara acak dan tidak stabil, sehingga menyebabkan garis alir antara partikel fluidanya saling berpotongan.



Gambar 9. Aliran turbulen

Berikut adalah fenomena aliran yang dapat dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, aliran air pada keran mungkin yang paling sering kita jumpai.



Gambar 10. Aliran Laminer, (b) Aliran Transisi dan (c) Aliran Turbulen

Gambar 10a merupakan keran air yang dibuka saat awal (bukaan kecil) sehingga air yang mengalir kecepatannya kecil, pada kondisi ini terjadi aliran laminar. Kecepatan air meningkat pada Gambar 10b dan Gambar 10c sehingga aliran air berubah menjadi turbulen. Dari sudut pandang hidraulik, hal yang paling mudah untuk membedakannya adalah gerak partikel/distribusi kecepatannya seragam, lurus, dan sejajar untuk aliran laminar dan sebaliknya untuk aliran turbulen. Perubahan dari laminar menuju turbulen atau zona transisi terjadi pada jarak tertentu dan zona transisi akan berakhir hingga terjadi kondisi *fully developed turbulence*.

2.7 Energi Spesifik

Energi spesifik adalah besarnya tenaga yang diukur dari dasar saluran pada sembarang tampang. Konsep dari energi spesifik berfungsi untuk menentukan kedalaman air kritis dan analisis aliran saluran terbuka.

$$E = \frac{Q^2}{2gA^2} + h \quad (2.23)$$

Keterangan:

H = Tinggi energi (m)

z = Tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (m)

α = Koefisien energi, pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$

E = Energi spesifik (m)

h = Kedalaman aliran (m)

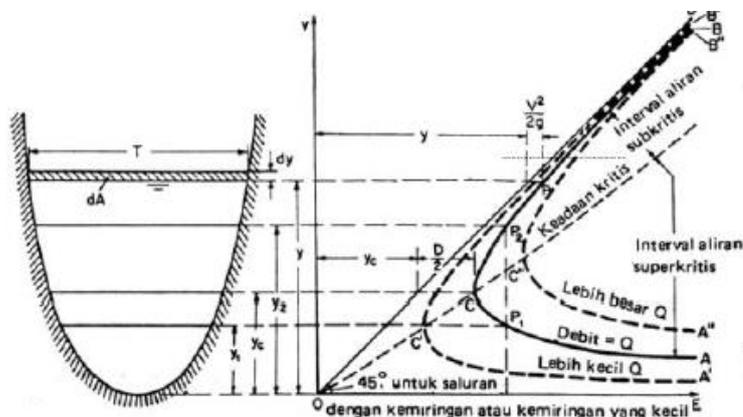
v = Kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

A = Luas penampang (m²)

g = Percepatan gravitasi (m/det²)

Q = Debit (m³/det).

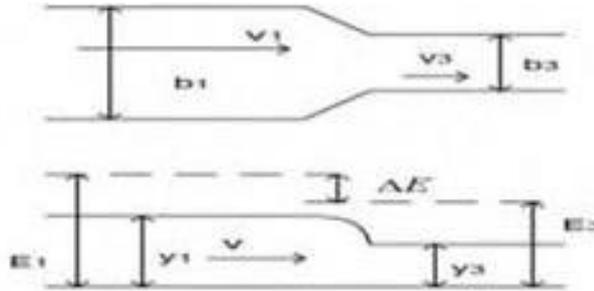
Berikut adalah kurva energi spesifik terkait kedalaman aliran yang digambarkan terhadap energi spesifik untuk suatu penampang saluran dan debit tertentu.



Gambar 12. Kurva Energi Spesifik. Sumber: Ven Te Chow, 1985

Gambar 12 menunjukkan bahwa dengan energi spesifik (E_s) yang sama, maka terdapat 2 kemungkinan kedalaman, yaitu kedalaman y_1 yang disebut kedalaman alternatif y_2 , dan sebaliknya. Energi spesifik mencapai minimum pada titik C. Pada titik itu kedua kedalaman akan tampak menyatu dan dikenal sebagai kedalaman kritis y_c (*critical depth*).

Perbedaan energi sebelum penyempitan dan energi setelah penyempitan dikenal sebagai keehilangan energi, yaitu $\Delta E = E1 - E2$ sebagaimana ditunjukkan pada gambar 13 berikut.



Gambar 13. Profil aliran melalui penyempitan. *Sumber Ven Te Chow, 1992*

Dari gambar 13 diperoleh persamaan besarnya kehilangan energi sebagai berikut:

$$\Delta E = y1 + \frac{v1^2}{2gA1^2} - y3 - \frac{v3^2}{2gA3^2} \quad (2. 24)$$

Keterangan:

ΔE = kehilangan energi (cm)

$y1$ = tinggi air sebelum penyempitan (cm)

$y3$ = tinggi air pada penyempitan (cm)

$v1$ = kecepatan air sebelum penyempitan (cm/det)

$v3$ = kecepatan air pada penyempitan (cm/det).

Kecepatan dapat diturunkan dari persamaan sebelumnya, sehingga persamaan (1) menjadi:

$$\Delta E = y1 + \frac{Q1^2}{2gA1^2} - y3 - \frac{Q3^2}{2gA3^2} \quad (2. 25)$$

Dengan:

$A1$ = Luas penampang titik 1 (sebelum penyempitan)

$A3$ = Luas penampang titik 3 (setelah penyempitan)

2.8 Kasus Penyempitan Penampang Pada Saluran Terbuka

Jumlah penduduk yang semakin lama semakin meningkat mengakibatkan penggunaan lahan semakin meningkat dan daerah hijau/daerah terbuka yang berfungsi untuk menahan sementara waktu dan meresapkan air hujan ke dalam tanah semakin berkurang (Darlina, 2009). Berkurangnya daerah resapan air dapat menyebabkan porsi rembesan dan resistensi semakin mengecil sehingga mengakibatkan porsi limpasan air hujan membesar dan terjadi banjir.

Banjir atau genangan disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk, perubahan iklim dan perubahan tata guna lahan. Peningkatan penduduk yang tidak diimbangi dengan penyediaan prasarana dan sarana perkotaan yang memadai mengakibatkan pemanfaatan lahan yang tidak tertib, sehingga menyebabkan permasalahan drainase menjadi sangat kompleks (Haryoko, 2013).

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia No. 12 tahun 2014 menyatakan sistem drainase perkotaan adalah satu kesatuan sistem teknis dan non teknis dari prasarana dan sarana drainase perkotaan. Prasarana drainase adalah lengkungan atau saluran air di permukaan atau di bawah tanah, baik yang terbentuk secara alami maupun dibuat oleh manusia, yang berfungsi menyalurkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air penerima. Sarana drainase adalah bangunan pelengkap yang merupakan bangunan yang ikut mengatur dan mengendalikan sistem aliran air hujan agar aman dan mudah melewati jalan, belokan daerah curam, bangunan tersebut seperti gorong-gorong, pertemuan saluran, bangunan terjunan, jembatan, tali-tali air, pompa, dan pintu air.

- a. **Evaluasi Daya Tampung Sistem Drainase Di Kecamatan Banjarmasin Selatan** (Oleh Bayu Andana d.k.k JPG pada (Jurnal Pendidikan Geografi) Volume 3, No 4, Juli 2016 Halaman 1-13)

Hasil dari laporan Kelompok Kerja Sanitasi Kota Banjarmasin, 2012 dalam *Studi Environmental Health Risk Assessment (EHRA)* Kota Banjarmasin yang menyatakan bahwa 52% genangan yang terjadi di Kota Banjarmasin disebabkan oleh sistem drainase yang bermasalah. Penyebab sistem drainase menjadi bermasalah yaitu pendangkalan dan penyempitan saluran berupa tumbuhnya gulma di saluran yang mempercepat pendangkalan, sehingga fungsi

saluran drainase akan berkurang dengan berjalannya waktu. Data jumlah kejadian genangan di Kota Banjarmasin disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya Tampung Sistem Drainase Mikro di Kecamatan Banjarmasin Selatan

No.	Faktor yang Mempengaruhi Daya Tampung	Jumlah	Persentase (%)
1.	Peningkatan Debit	30	30,46
2.	Sampah	16	20,51
3.	Sedimentasi	18	23,08
4.	Penyempitan dan Pendangkalan Saluran	10	12,82
5.	Pasang Surut	4	5,13
Jumlah		78	100

Sumber: Observasi lapangan, survey dan perhitungan 2016

Hasil identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi daya tampung sistem drainase mikro di Kecamatan Banjarmasin Selatan diketahui masuknya material sampah secara sengaja maupun tidak sengaja kedalam saluran drainase mengakibatkan gangguan terhadap daya tampung sistem drainase dalam mengalirkan debit air yang masuk kedalam saluran. Manajemen sampah yang kurang baik memberi kontribusi dalam pendangkalan saluran.

Bertambahnya materi yang dibawa oleh air seperti sampah, lumpur, tanah dan sebagainya masuk kedalam saluran mempercepat proses sedimentasi. Kondisi saluran yang berlumpur, berair dan dalam kondisi basah memicu tumbuhan untuk hidup dan berkembang pesat di dinding dan di dalam saluran sehingga mempercepat proses penyempitan dan pendangkalan saluran. Kondisi geografis Kecamatan Banjarmasin Selatan yang merupakan daerah rawa dengan aktivitas pasang surut, sehingga mempengaruhi daya

tampung sistem drainase di kecamatan Banjarmasin selatan dan perlu dilakukan pemeliharaan.

b. **Evaluasi Kinerja Sistem Drainase Perkotaan Di Wilayah Purwokerto**

(Muhammad Arifin, Jurnal Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta Vol.13 No. 1 (2018), P-ISSN: 1907-2368)

Permasalahan drainase untuk Kabupaten Banyumas khususnya wilayah Kota Purwokerto saat ini menghadapi problema yang cukup serius, seperti daerah lain di Indonesia. Misalnya pada beberapa lokasi drainase sering menjadi penyebab banjir/ genangan dan perilaku alur drainase menyebabkan terancamnya permukiman dan infrastruktur perekonomian. Hal tersebut dirasakan Pemerintah Kabupaten Banyumas sebagai suatu masalah, mengingat kerusakan tersebut, seringkali menimbulkan rusaknya jalan, terganggunya lalu lintas serta dapat pula mengganggu kualitas lingkungan permukiman.

Dari hasil inventarisasi kondisi eksisting saluran drainase, diperoleh data bahwa sebagian besar saluran mengalami penyempitan akibat dari sedimentasi yang disebabkan oleh sampah dan dinding saluran yang longsor karena terkikis oleh erosi.

Untuk mengetahui kapasitas saluran drainase mencukupi atau tidak dalam mengalirkan debit aliran sesuai dengan kala ulangnya (10 tahun), diperlihatkan perbandingan antara debit aliran yang didasarkan pada parameter hidrologi (debit rencana kala ulang) dengan debit aliran berdasarkan kapasitas saluran (berdasarkan persamaan Manning).

Tabel 2. Perbandingan Debit Banjir Kala Ulang 10 tahun dengan Kapasitas Saluran untuk Saluran Drainase Sub Makro

No.	Lokasi Saluran	Debit Banjir (m ³ /det)	Kapasitas Saluran (m ³ /det)	Keterangan
1.	K. Caban (Jl Gatot Subroto)	11,038	8,066	Melimpas
2.	K. Wadas (Jl. Brig Encung)	15,874	12,382	Melimpas

(Sumber : Muhammad Arifin. (2018). Jurnal Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta Vol.13 No. 1)

Lanjutan Tabel 2.

No.	Lokasi Saluran	Debit Banjir (m ³ /det)	Kapasitas Saluran (m ³ /det)	Keterangan
3.	K. Besar (Avur GOR Satria)	4,518	0,869	Melimpas
4.	K. Putih (Jl. Soeparno Kel. Arcawinangun belakang Kampus AMIK)	16,154	6,534	Melimpas
5.	K. Putat (belakang terminal lama)	4,214	4,191	Melimpas

(Sumber : Muhammad Arifin. (2018). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta Vol.13 No. 1*)

Tabel 3. Perbandingan Debit Banjir Kala Ulang dengan Kapasitas Saluran untuk Saluran Drainase Mikro Sub DAS Kali Caban

No.	Lokasi Saluran	Debit Banjir (m ³ /det)	Kapasitas Saluran (Qsal m ³ /det)	Keterangan
1.	Baturaden 1	2,0488	1,6202	Melimpas
2.	Baturaden 2	1,2983	1,7538	Tidak Melimpas
3.	Dr. Angka 3	2,1772	0,8251	Melimpas
4.	Dr. Angka 4	1,2960	1,2577	Melimpas
5.	Gatotsubroto 3	1,3905	0,6595	Melimpas
6.	Gatotsubroto 4	1,5039	0,8251	Melimpas

(Sumber : Muhammad Arifin. (2018). *Jurnal Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta Vol.13 No. 1*)

Untuk mengetahui secara pasti perlu dilakukan pengukuran kondisi eksisting terhadap saluran-saluran drainase yang sering mengalami genangan atau banjir diantaranya meliputi Kali Bakal, Kali Putih, Kali Mati/ Berkoh, Kali Biru, Kali besar, Kali Deeng, Kali Putat, Kali Raden, Kali Caban, Kali Pengarengan, Kali Wadas, Kali Bodas, Kali Bogor, Kali Kenes, dan Kali Jengok. Penyebab utama genangan yaitu saluran telah mengalami penyempitan baik akibat sedimentasi dan sampah maupun

penyempitan karena permukiman warga yang tidak tertata. Dalam rangka meningkatkan kinerja dari saluran perlu dilakukan perbaikan/rehabilitasi pada tanggul saluran yang telah mengalami kerusakan maupun tanggul yang masih berupa saluran alami yaitu pada saluran drainase Kali Bakal, Kali Putih, Kali Mati/ Berkoh, Kali Biru, Kali besar, Kali Deeng, Kali Putat, Kali Raden, Kali Caban, Kali Pengarengan, Kali Wadas, Kali Bodas, Kali Bogor, Kali Kenes, dan Kali Jengok. Perlu dilakukan normalisasi dan pengerukan saluran akibat sedimentasi dan sampah untuk meningkatkan kapasitas/daya tampung saluran drainase Kali Caban, Kali Wadas, Kali Besar, Kali Putih, dan Kali Putat. Pelebaran/ perbesaran dimensi saluran pada saluran drainase yang kapasitasnya sudah tidak memenuhi yaitu pada saluran mikro Baturaden 1, Dr. Angka 3, Dr. Angka 4, Gatotsubroto 3, dan Gatotsubroto 4 dengan mempertimbangkan utilitas yang ada di sekitar saluran.

c. **Evaluasi daya tampung sistem drainase pada Jalan patimura – jalan mas penghulu Kota samarinda** (Oleh Aulia Fariz, Purwanto, dan Suharto.

Fakultas Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda)

Samarinda merupakan Ibu Kota Provinsi Kalimantan Timur. Secara geografis letak Kota Samarinda sangat strategis, karena menjadi titik simpul kota/kabupaten di sekitarnya, Kondisi jaringan drainase yang ada pada saat ini menunjukkan kurang mampu dan optimal dalam mengalirkan air hujan ke hilir dengan baik, sehingga sering terjadi banjir/ genangan di beberapa tempat menimbulkan kerugian langsung kepada penduduk dan juga kelancaran arus lalu lintas.

Di Samarinda, daerah langganan banjir meliputi kecamatan Samarinda Seberang. Walaupun daerah tersebut merupakan daerah yang rutin banjir pada waktu musim hujan, namun yang memiliki titik paling banyak banjir terdapat pada ruas Jalan Patimura - Jalan Mas Penghulu Kota Samarinda. Jika dilihat dari akar permasalahan, dari hasil investigasi disimpulkan bahwa bencana banjir secara fisik disebabkan oleh (1) curah hujan yang tinggi, (2) karakteristik DAS (3) penyempitan saluran drainase, (4) perubahan penutupan lahan. Dari keempat tersebut 2 (dua) penyebab

pertama berada diluar kemampuan manusia untuk dapat melakukan intervensi.

Oleh karena itu, evaluasi daya tampung sistem drainase sangat diperlukan sebagai solusi untuk menanggulangi permasalahan limpasan hujan yang terjadi pada Jalan Patimura - Jalan Mas Penghulu Kota Samarinda.

Untuk mengevaluasi daya tampung dimensi saluran yang mencukupi untuk kala ulang 10 tahun yaitu membandingkan kapasitas daya Tampung Saluran dengan Debit banjir rancangan untuk kala ulang 10 tahun, apabila :

$Q_{ah} < Q_d$ maka kapasitas saluran cukup

$Q_{ah} > Q_d$ maka kapasitas saluran Tidak cukup

Dimana:

Q_{ah} = Debit Banjir Rancangan

Q_d = Debit Dimensi Saluran

Tabel 4. Perhitungan Debit Saluran Existing

No.	Saluran	A (m ²)	R (m)	n	S	V (m/det)	Qd
1.	Jalan Mas Penghulu	2,401	0,522	0,025	0,00232	1,250	3,001
2.	Jalan Patimura	0,960	0,343	0,025	0,00258	0,995	0,956

(Sumber : Aulia Fariz, Purwanto, dan Suharto. *Evaluasi daya tampung sistem drainase pada Jalan patimura – jalan mas penghulu Kota samarinda. Fakultas Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda*)

Tabel 5. Debit Existing Terhadap Debit Banjir Kala Ulang 10 Tahun

No.	Saluran	A (m ²)	V (m/det)	Qd	Qah (m ³ /dt)	Keterangan
1.	Jalan Mas Penghulu	2,401	1,250	3,001	2,23	CUKUP

2.	Jalan Patimura	0,960	0,995	0,956	3,20	TIDAK CUKUP
----	----------------	-------	-------	-------	------	-------------

(Sumber : Aulia Fariz, Purwanto, dan Suharto. *Evaluasi daya tampung sistem drainase pada Jalan patimura – jalan mas penghulu Kota samarinda. Fakultas Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda*)

Dari hasil tersebut diatas terlihat Saluran Jalan Patimura yang tidak mencukupi kapasitasnya untuk debit dengan kala ulang 10 Tahun. Solusinya mengubah dimensi saluran dengan menggunakan penampang segiempat dengan berbahan Beton dengan tetap memper-timbangkan faktor kemiringan dasar saluran dan Debit Dimensi harus lebih besar daripada debit banjir rancangan, dengan rencana lebar dasar (b) 1,5 m, tinggi basah (h) 1,00 m dan tinggi jagaan adalah 0,5 m, debit yang dihasilkan dari daya tampung saluran diatas adalah 3,332 m³/det lebih besar dari debit banjir pada tahun 2027 sebesar 3,20 m³/det.