

**STUDI MODEL GERUSAN SEKITAR PINTU SORONG PADA
SALURAN TERBUKA**

*(Study of Scouring Models Around Measuring Sluice gate
on Open Channels)*

UJIAN PROMOSI

ANDI AMIN LATIF

P0800316415



PROGRAM STUDI S3 TEKNIK SIPIL

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**STUDI MODEL GERUSAN SEKITAR PINTU SORONG PADA
SALURAN TERBUKA**

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI AMIN LATIF
P0800316415**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Teknik Sipil

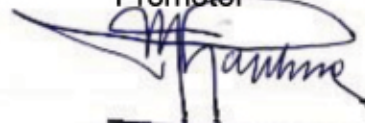
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 7 Desember 2020

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

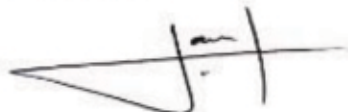
Promotor



Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Saleh Pallu, M.Eng.

NIP: 195409101983031003

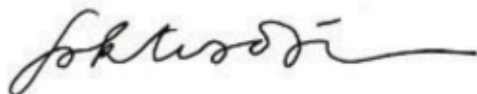
Co Promotor,



Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT

NIP: 196410201991031002

Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil



Prof. Ir. Sakti Adji A., MS., M.Eng.Sc., Ph.D

NIP: 19640422 199303 1 001

Co Promotor,



Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.

NIP: 197305121999031002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. H. M. Arsyad Thaha, MT

NIP: 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Andi Amin Latif
NIM : P0800316415
Program studi : Ilmu Teknik Sipil
Jenjang : S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

“Studi Model Gerusan Sekitar Pintu Sorong Pada Saluran Terbuka”

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

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

Makassar, ...Maret 2021

Yang menyatakan



Andi Amin Latif

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni “***Studi Model Gerusan Sekitar Pintu Air Pada Saluran Terbuka***” dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu, M.Eng**, atas bimbingan, arahan, dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan disertai ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Eng. H. Farouk Maricar, MT** dan **Dr. Eng. Muksan Putra Hatta, MT** selaku Co-Promotor yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada; Rektor Universitas Hasanuddin (Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng** (Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D** (Ketua Program Studi S3 Teknik Sipil

Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Universitas Hasanuddin dan staf Prodi S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terimakasih yang setinggi tingginya atas segala keiklasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah Rabbul Alamin dapat membalasnya. Akhirnya kami ucapkan Nun Wal Kalami Wamayaturuun.

Makassar, November 2020

Wassalam

Andi Amin Latif

ABSTRAK

ANDI AMIN LATIF. Studi Model Gerusan Sekitar Pintu Sorong Pada Saluran Terbuka (dbimbing oleh H.M Saleh Pallu, H.M Farouk Maricar dan Muksan Putra Hatta).

Pintu sorong merupakan salah satu konstruksi bangunan air yang dapat diatur bukaannya, yang biasa dikenal dengan pintu air dan merupakan suatu alat untuk mengontrol aliran pada saluran terbuka. Penelitian ini bermaksud mengetahui pengaruh bukaan pintu sorong terhadap pola aliran dan mengetahui korelasi bukaan pintu dan debit aliran terhadap kedalaman gerusan. Dalam penelitian ini menggunakan tanah lempung sebagai dasar saluran dengan tiga variasi debit (Q) dan tiga variasi bukaan pintu (Y_g). Kajian model gerusan terhadap perubahan pola aliran dari dasar tanah lempung yang digunakan pada saluran terbuka dilakukan di laboratorium hidrolika fakultas teknik sipil Universitas Hasanuddin Makassar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bukaan pintu mempengaruhi terjadinya pola aliran terlihat bahwa penggunaan pintu sorong dapat menyebabkan perubah karakteristik aliran dihilir dan dihilir pintu sorong seperti ketinggian muka air, kecepatan dan turbulensi yang dapat menyebabkan terjadinya gerusan pada hilir pintu, bukaan pintu sorong dapat mempengaruhi terjadinya kedalaman gerusan terlihat bahwa semakin kecil bukaan pintu kedalaman gerusan semakin besar, variabel yang menyebabkan kedalaman gerusan adalah debit aliran (Q) dimana semakin besar debit semakin besar kedalaman gerusan. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kedalaman gerusan maksimum 7,90 cm dan panjang gerusan 29,3 cm terjadi pada debit (Q) 2,069 cm³/det dengan bukaan pintu sorong (Y_g) 0,5 cm dan diperoleh kedalaman gerusan minimum 1,15 cm dan panjang gerusan 10,7 cm terjadi pada debit (Q) 1,347 cm³/det dengan bukaan pintu 1,5 cm.

Kata Kunci : Pintu Sorong, Debit, Bukaan Pintu, Kedalaman Gerusan, Tanah Lempung.

ABSTRACT

ANDI AMIN LATIF. Study of Scouring Models Around Sluice Gate in Open Channels (guided by H.M Saleh Pallu, H.M Farouk Maricar, and Muksan Putra Hatta).

The sluice gate is water structure that has an adjustable opening, which is commonly known as a sluice gate and is a tool to control the flow of an open channel. This study intends to determine the effect of sliding door openings on flow patterns and to determine the correlation of door openings and flow rates to the depth of scour. In this study using clay soil as the basis of the channel with three variations of discharge (Q) and three variations of door openings (Yg). A study of the scour model of changes in flow patterns from the clay bottom used in open channels was carried out in the hydraulics laboratory of the civil engineering faculty of Hasanuddin University Makassar. The results showed that the door opening affects the flow pattern, it appears that the use of sliding doors can cause changes in the flow characteristics of the upstream and downstream sliding doors such as water level, velocity and turbulence which can cause scouring at the downstream of the door, sliding door openings can affect the occurrence of scour depth. It can be seen that the smaller the door opening, the greater the scour depth, the variable that causes the scour depth is the flow rate (Q) where the greater the discharge the greater the scour depth. The results showed that the maximum scour depth of 7.90 cm and length of 29.3 cm occurred at discharge (Q) 2.069 cm³/s with a sliding door opening (Yg) 0.5 cm and the minimum scour depth was 1.15 cm and 10.7 cm scouring length occurs at discharge (Q) 1.347 cm³/s with a door opening 1.5 cm.

Keywords: Sluice Gate, Scouring, Discharge, Clay

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Batasan Masalah.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Susunan Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Aliran pada Saluran Terbuka.....	8
1. Jenis Aliran.....	8
2. Sifat Aliran	9
a. Klasifikasi Aliran Berdasarkan Bilangan Reynolds	9
b. Klasifikasi Aliran Berdasarkan Bilangan Froude.....	10

2. Kondisi Aliran	11
a. Aliran Sub Kritis.....	11
b. Aliran Super Kritis.....	11
c. Aliran Kritis	12
B. Aliran yang Melalui Bukaan Pintu Sorong.....	12
1. Kondisi Aliran yang Melalui Bukaan Pintu Sorong....	12
2. Gaya yang Bekerja pada Pintu Sorong	17
C. Pola Aliran pada Hilir Pintu Sorong	18
D. Gerusan pada Dasar Saluran.....	18
E. Gerusan Lokal	21
F. Rumus-rumus Gerusan Lokal	22
G. Mekanisme Gerusan	23
H. Kerangka Pikir Penelitian	25
BAB III METODE PENELITIAN	27
A. Umum	27
B. Tempat Eksperimen	28
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	28
1. Jenis Penelitian	28
2. Sumber Data	29

D. Alat dan Bahan Penelitian	29
1. Alat penelitian	29
2. Bahan Penelitian	31
E. Variasi Penelitian.....	32
F. Prosedur Percobaan.....	32
1. Prosedur Penentuan Variasi Debit (Q).....	32
2. Prosedur Pengukuran Pola Aliran	33
3. Prosedur Pengukuran Pola Gerusan.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
A. Pengukuran Debit Aliran	39
B. Aliran Melalui Pintu Sorong.....	40
1. Kecepatan Aliran (V)	40
2. Bilangan Reynolds (Re).....	41
3. Bilangan Froude (Fr).....	42
4. Koefisien Pada Saluran	43
C. Gaya yang Bekerja Pada Pintu Sorong	44
1. Gaya Tekan pada Pintu Sorong (Fg).....	44
2. Gaya Hidrostatik pada Pintu Sorong (Fh)	45
3. Energi Spesifik.....	46
D. Pola Aliran	47

E. Gerusan	51
F. Hubungan antar Variabel yang Mempengaruhi Kedalaman Gerusan.....	58
G. Analisan kedalaman Gerusan.....	62
H. Temuan Empirik.....	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
A. KESIMPULAN	64
B. SARAN	64
DAFTAR PUSTAKA.....	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisik tanah lempung.....	32
Tabel 2. Hasil Pengukuran dan Perhitungan Aliran Pada Saluran....	39
Tabel 3. Pengukuran Kecepatan Aliran	41
Tabel 4. Pengukuran Bilangan Reynolds.....	42
Tabel 5. Hasil Perhitungan Bilangan Froude	43
Tabel 6. Hasil Perhitungan Koefisien	44
Tabel 7. Rekapitulasi Data Gerusan	56
Tabel 8. Perbandingan Kedalaman Gerusan Hasil Penelitian dengan Hasil Perhitungan.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Bagan Jenis-Jenis Aliran	7
Gambar 2. Aliran dibawah Pintu Sorong Dengan Dasar Horizontal...	12
Gambar 3.a Aliran dasar tetap fixed bed	19
Gambar 3.b Aliran dasar bergerak Movable bed	20
Gambar 4. Kerangka Pikir Penelitian.....	26
Gambar 5. Tempat Eksperimen.....	28
Gambar 6. Model fisik saluran dengan tanah lempung.....	29
Gambar 7. Desain Saluran untuk Percobaan Pintu Sorong.....	30
Gambar 8. Pintu Sorong	31
Gambar 9. Skema Pengukuran Aliran	36
Gambar 10. Bagan Alir Tahapan Penelitian.....	38
Gambar 11. Aliran dibawah Pintu Sorong	40
Gambar 12. Grafik Hubungan Gaya Dorong pada (F_g) dan (Y_g)	44
Gambar 13. Grafik Hubungan Gaya Dorong pada (F_h) dan (Y_g)	45
Gambar 14. Kurva Energi Spesifik terhadap Kedalaman Aliran.	46

Gambar 15. Pola Aliran pada $Q = 1.465 \text{ cm}^3/\text{det}$ dengan bukaan pintu 0,5 cm; 1,0 cm dan 1,5 cm	48
Gambar 16. Contour Pola Gerusan Q2.....	53
Gambar 17. Wireframe 3 Dimensi Pola Gerusan Q2	54
Gambar 18. Wireframe 3 Dimensi + Contour Pola Gerusan Q2	55
Gambar 19. Grafik Hubungan $\left(\frac{q}{a^{1.5}g^{0.5}}\right)$ dengan ds/a	59
Gambar 20. Grafik Hubungan (y_0/y_2) dengan ds/a	60
Gambar 21. Grafik Hubungan (Fra) dengan ds/a	61

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertanian adalah bagian terpenting dalam pemenuhan pangan suatu negara. Baik tidaknya hasil suatu pertanian dipengaruhi oleh usaha penyediaan dan pengaturan air atau disebut dengan istilah dengan irigasi. Di dalam rangka pemanfaatan air di bidang irigasi, maka dibangun konstruksi air. Salah satunya pintu air untuk membagi debit sesuai rencana. Jenis pintu air yang sering digunakan adalah pintu sorong (*sluice gate*).

Namun, pemanfaatan pintu sorong sebagai pintu sorong pada saluran dapat menimbulkan masalah di muara pintu, yaitu terjadinya gerusan. Hal tersebut terjadi sebagai akibat adanya perubahan karakteristik aliran di sebelah hulu setelah melewati pintu dan di muara pintu. Terlebih gerusan dapat terpengaruh sifat material dasar.

Bangunan pintu air pada irigasi digunakan untuk mengatur tinggi muka air sesuai debit yang direncanakan. Namun, pemanfaatan pintu air ini ternyata dapat menyebabkan perubahan sifat aliran di puncak dan muara saluran, serta turbulensi sehingga menimbulkan perubahan transport sedimen serta gerusan. Pada pintu air, aliran yang melewati bawah pintu berupa aliran superkritik dengan energi tinggi sehingga menimbulkan gerusan di puncak pintu, terutama jika dasar saluran tersusun atas material lunak (Puspitarini et.all, 2002).

Pada saat pintu dioperasikan terjadi pola aliran di daerah bukaan pintu dimana arus aliran akan bercampur material yang ada di sekelilingnya. Arus aliran berkaitan dengan dasar saluran menyebabkan material tergerus di dasar saluran. Apabila di dasar saluran bermaterial lunak maka akan terjadi pola gerusan tertentu yang mencerminkan pola gerusan tersebut. Fenomena tersebut dapat menyebabkan degradasi di sekitar pintu sorong. Degradasi ini secara terus menerus berlangsung hingga mencapai keseimbangan antar suplai dengan angkutan sedimen. Adanya perubahan pola aliran maka terjadi ketidakseimbangan antar jumlah angkutan sedimen yang lebih besar dari suplai sedimennya. Hal ini menyebabkan semakin dalamnya lubang gerusan (*scour hole*).

Kedalaman gerusan dapat bertambah sampai mencapai batas tertentu. Pada kondisi tertentu, gerusan dapat menyebabkan gangguan stabilitas, atau bahkan kehilangan fungsi sama sekali sebagai bangunan pengatur.

Fenomena terjadinya gerusan di hilir pintu dapat mengakibatkan fungsi pintu terganggu. Oleh sebab itu, perlu adanya upaya untuk menanggulangi permasalahan tersebut. Berdasarkan penjelasan diatas, maka diperlukan suatu penelitian mengenai **“Studi Model Gerusan Sekitar Pintu Sorong Pada Saluran Terbuka”**.

A. Rumusan Masalah

1. Bagaimana bukaan pintu mempengaruhi pola aliran ?
2. Bagaimana bentuk gerusan disekitar pintu sorong akibat perubahan aliran.

B. Tujuan Penelitian

1. Menemukan Pengaruh Bukaan Pintu terhadap Pola Aliran.
2. Menemukan bentuk gerusan akibat pengaruh aliran disekitar pintu sorong.
3. Menemukan bentuk aliran pada saluran dilengkapi pintu sorong.

C. Batasan Masalah

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperiman di laboratorium;
2. Penelitian ini menggunakan tanah lempung berasal dari sekitar kampus UNHAS kecamatan Parangloe, kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan;
3. Penelitian ini menggunakan flume dengan panjang 9 meter, tinggi 45 centimeter, dan lebar 30,5 centimeter;
4. Pengaruh dinding batas flume terhadap gerusan yang terjadi tidak diperhitungkan;
5. Menggunakan pintu sorong sesuai dengan lebar flume;

D. Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik perubahan pola aliran dan gerusan;

2. Sebagai bahan pertimbangan dan referensi dalam perencanaan irigasi dan bangunan – pintu sorong lainnya;
3. Sebagai referensi untuk pengembangan selanjutnya;

E. Susunan Penulisan

Susunan penulisan disusun agar tetap terarah pada tujuan yang ingin dicapai dalam eksperimen ini. Susunan penulisan yang dituliskan dalam penelitian ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, berisi tentang latar belakang masalah penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta batasan penelitian serta sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan permasalahan yang diamati, menjelaskan tujuan dan pentingnya hasil penelitian bagi pengembangan ilmu pintu sorong, ruang lingkup sebagai batasan dalam penulisan, serta sistematika dan organisasi tentang pengenalan isi per bab dalam disertasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bahan bacaan ini digunakan untuk mengetahui tentang mekanisme gerusan dan transport sedimen yang mempengaruhi gerusan disekitar pintu sorong.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian gerusan dengan menggunakan bahan tanah lempung, bagan alir penelitian, pembuatan model dari tanah lempung, pengujian yang dilakukan dengan berbagai variasi debit (Q) dan bukaan pintu sorong mulai dari tahap persiapan, pelaksanaan pendahuluan, pelaksanaan penelitian dan pengamatan serta pengambilan informasi.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Memuat analisa data mengenai serta pembahasan mengenai perhitungan kondisi aliran, pola aliran yang terjadi, pola gerusan yang terjadi dan analisa mengenai hubungan antara aliran dan gerusan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari eksperimen yang diteliti dari hasil dan pembahasan penelitian. Bab ini pun tentang saran dari penulis.

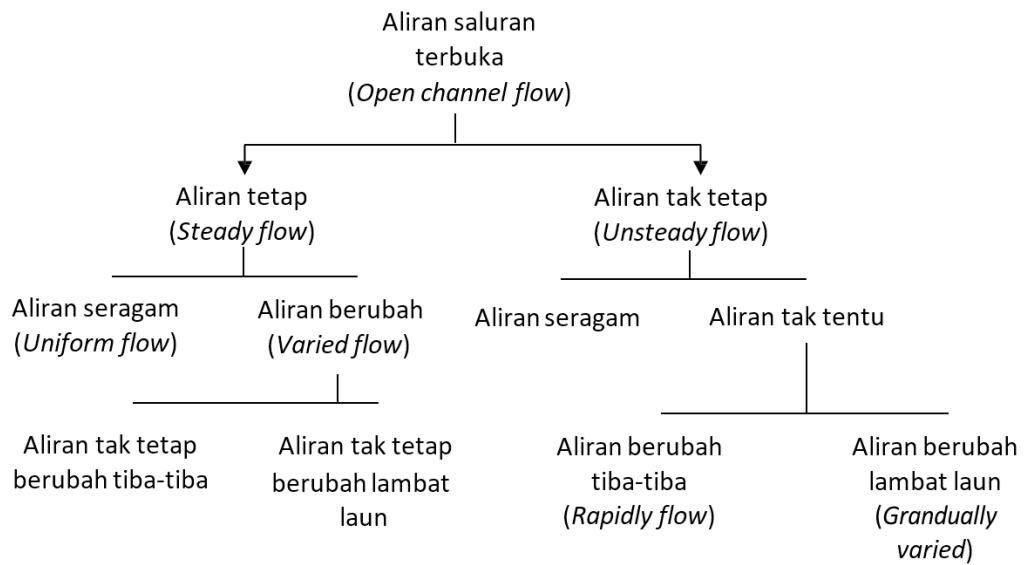
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sungai merupakan suatu saluran terbuka atau saluran drainase yang terbentuk secara alami yang mempunyai fungsi sebagai saluran. Penggerusan terjadi secara terus menerus akan mengakibatkan semakin dalamnya tanah dasar yang tergerus. Proses gerusan dapat terjadi karena adanya pengaruh morfologi sungai yang berupa tikungan atau adanya penyempitan saluran sungai.

Sungai atau saluran terbuka menurut Triatmodjo (2003:103) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran dan sebagainya.

Aliran seragam dan aliran tak seragam dapat merupakan aliran langgeng dan aliran tak langgeng yang tergantung dari perubahan kecepatan sehubungan dengan waktu. Aliran melalui saluran terbuka disebut tidak seragam, apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan.

Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) jika $Fr < 1$, dan super kritis (meluncur) jika $Fr > 1$. Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis ($Fr = 1$). Klasifikasi aliran menurut Chow (1996) dalam dapat digolongkan sebagai berikut :



Gambar 1. Bagan Jenis-Jenis Aliran

Untuk menyalurkan air ke berbagai tempat guna keperluan irigasi, drainase, air bersih dan sebagainya sering dibuat saluran yang menggunakan saluran terbuka. Pada pengoperasiannya untuk membagi air, mengatur debit dan sebagainya kadang-kadang diperlukan suatu alat yang disebut pintu air.

Dalam mengamati gerusan yang diakibatkan oleh aliran air pada saat pintu air dioperasikan tentu tidak terlepas dari pengarnatan konsep-konsep dasar aliran pada saluran terbuka, konsep aliran melewati lubang pintu dan loncatan air. Pada loncat air dapat dilihat olakan air yang sangat besar, yang disertai dengan berkurangnya energi aliran. Karena olakan yang sangat besar maka loncat air dapat menyebabkan terjadinya erosi di lokasi tersebut.

A. Aliran pada Saluran Terbuka

1. Jenis Aliran

Secara hidraulis aliran di dalam saluran terbuka dapat dibagi menjadi beberapa macam yang mana pembagian ini berhubungan dengan perubahan kecepatan yang tergantung pada waktu dan ruang.

Jika ruang yang dijadikan sebagai ukuran maka aliran dapat digolongkan menjadi aliran seragam dan aliran tak seragam. Aliran tak seragam ini masih dibagi lagi menjadi aliran tak seragam berubah mendadak dan aliran seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan.

Aliran disebut aliran langgeng jika kecepatan pada setiap tempat tidak tergantung pada waktu, atau secara matematis dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial t = 0$. Dimana ∂v menyatakan perubahan kecepatan pada setiap tempat yang bergantung pada waktu ∂t .

Aliran disebut aliran tak langgeng jika kecepatan pada setiap tempat bergantung pada waktu, secara matematis dinyatakan dengan $\partial v / \partial t \neq 0$. Apabila tidak ada perubahan kecepatan baik besar maupun arahnya disetiap penampang melintang saluran maka aliran disebut seragam. Keadaan ini akan terpenuhi jika ukuran dan bentuk penampang melintang saluran disetiap tempat tidak berubah. Oleh karena itu aliran seragam jarang terjadi pada saluran tanah alluvial, dikarenakan butiran-butiran tanah alluvial dasar saluran tersebut bergerak sehingga bentuk dasar dari saluran akan berubah yang mana akan merubah pula sifat dari alirannya. Secara matematis aliran seragam dapat dinyatakan dengan $\partial v / \partial t = 0$ dan $\partial v / \partial n = 0$. Dimana ∂s adalah jarak yang ditempuh oleh partikel cairan dengan kecepatan V , ∂v adalah perubahan kecepatan sepanjang jarak ∂s

dan ∂n adalah nonnal dari pada aliran. Aliran disebut aliran tak seragam jika kecepatan di setiap penampang melintang saluran tergantung pada waktu dan arah sehingga secara matematik dapat dinyatakan dengan $\partial v/\partial s \neq 0$ dan $\partial v/\partial n \neq 0$.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya aliran tak seragam ini masih dibagi lagi menjadi aliran tak seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan. Aliran disebut aliran tak seragam berubah mendadak jika perubahan kecepatan terjadi sekonyong-konyong pada jarak yang pendek seperti halnya pada terjunan. Sedangkan aliran tak seragam berubah lambat laun atau perlahan-lahan jika perubahan kecepatan terjadi perlahan-lahan pada jarak yang cukup panjang. Aliran seragam dan aliran tak seragam dapat merupakan aliran langgeng dan aliran tak langgeng yang tergantung dari perubahan kecepatan sehubungan dengan waktu.

2. Sifat Aliran

a. Klasifikasi Aliran Berdasarkan Bilangan Reynolds

Keadaan aliran di saluran terbuka dipengaruhi oleh kekentalan dan gaya berat yang berhubungan dengan gaya inersia dari aliran. Berdasarkan pengaruh kekentalan terhadap inersia, aliran dapat merupakan aliran laminar, turbulen dan aliran peralihan. Ketiganya dipengaruhi oleh bilangan Reynolds yang merupakan fungsi dari kecepatan (V), jari-jari hidraulik (R) dan kekentalan kinematik (ν).

Aliran dikatakan laminar apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair lebih besar dibanding dengan gaya inersia. Pada keadaan ini garis arus

tampak lurus karena butir-butir air bergerak secara teratur menurut garis arus. Aliran disebut turbulen apabila tahanan antara lapisan-lapisan zat cair sangat lemah dibandingkan dengan gaya inersia. Garis arus tampak bergelombang disebabkan butir air bergerak secara tidak teratur.

Antara aliran laminar dan turbulen terdapat keadaan campuran yang disebut keadaan peralihan. Aliran di saluran terbuka adalah laminar apabila harga bilangan Reynolds < 500 dan turbulen jika harga bilangan Reynolds > 1000 .

Bilangan Reynolds dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \quad (1)$$

dengan:

V = kecepatan

R = jari-jari hidraulik

ν = kekentalan kinematik

b. Klasifikasi Aliran Berdasarkan Bilangan Froude

Berdasarkan gaya berat terhadap inersia, aliran dapat merupakan aliran sub kritis, kritis dan super kritis. Ketiganya dipengaruhi oleh bilangan Froude yang merupakan fungsi dari kecepatan (V) dan kedalaman aliran (h). Bilangan Froude dijelaskan dengan rumus :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times Y}} \quad (2)$$

dengan:

- Fr = Angka Froude
 g = Percepatan gravitasi (cm/s²)
 Y = Tinggi muka air (cm)
 V = Kecepatan Aliran (cm/s)

3. Kondisi Aliran

a. Aliran Sub Kritis

Aliran dikatakan sub kritis apabila gaya berat lebih besar daripada gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan rendah. Pada aliran sub kritis $V < \sqrt{gh}$ dan $Fr < 1$. Dalam mekanisme gelombang jgh dapat disamakan dengan kecepatan perambatan gelombang dangkal. Jika $V < \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang akan lebih besar daripada kecepatan rata-rata aliran, sehingga gelombang dapat bergerak ke arah hulu.

b. Aliran Super Kritis

Aliran dikatakan super kritis apabila gaya berat sangat lemah bila dibanding dengan gaya inersia, sehingga air akan mengalir dengan kecepatan tinggi. Pada aliran super kritis $V > \sqrt{gh}$ dan $Fr > 1$. Jika $V > \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang akan lebih kecil daripada kecepatan rata-rata aliran, sehingga gelombang hanya bergerak ke arah hilir.

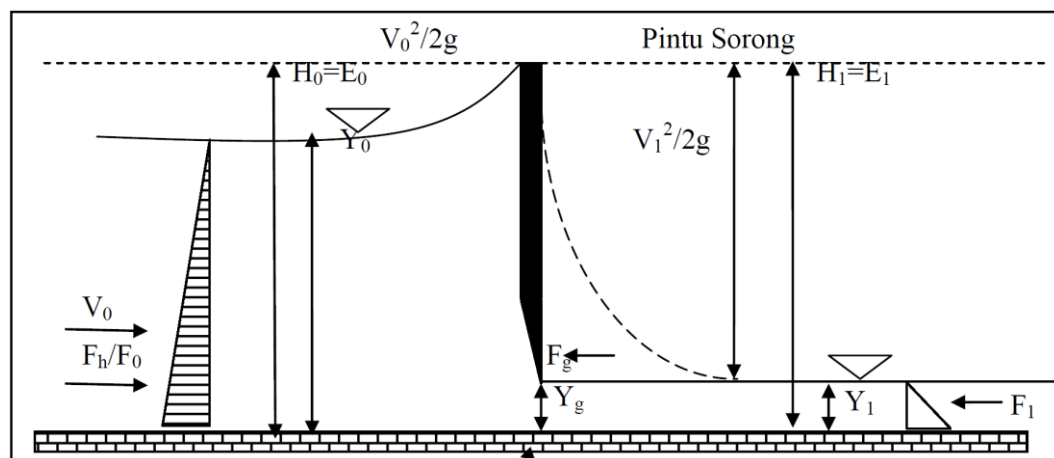
c. Aliran Kritis

Antara keadaan sub kritis dan super kritis terdapat keadaan kritis. Pada aliran kritis $V = \sqrt{gh}$ dan $Fr = 1$. Jika $V = \sqrt{gh}$ maka kecepatan perambatan gelombang sama dengan kecepatan rata-rata aliran, sehingga tidak ada pergerakan gelombang. Kedalaman pada keadaan kritis disebut kedalaman kritis.

B. Aliran yang Melalui Bukan Pintu Sorong

1. Kondisi Aliran yang Melalui Bukan Pintu Sorong

Agar lebih mudah dipahami maka aliran pada pintu sorong pada umumnya dibagi menjadi dua bagian penampang yaitu penampang bagian hulu (Penampang 0) dan penampang bagian hilir (Penampang 1). Skema aliran yang melewati pintu dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Aliran dibawah Pintu Sorong Dengan Dasar Horizontal

Tinggi muka air pada skema di atas dijelaskan oleh simbol Y_0 , Y_1 dan Y_g dimana simbol tersebut adalah :

Y_0 = tinggi muka air di hulu

Y_1 = tinggi muka air di hilir

Y_g = tinggi ujung bawah pintu sorong dari dasar saluran.

Persamaan Bernoulli dapat diterapkan hanya di dalam kasus dimana kehilangan energi diabaikan dari satu potongan ke potongan yang lain, atau bilamana tinggi kehilangan energi sudah diketahui. (Bambang Triatmodjo, 1996).

Aliran dibawah pintu sorong adalah sebuah contoh aliran konvergen dimana persamaan untuk debit diperoleh dengan cara menyamakan energi di penampang 0 dan 1. Jadi : $H_0 = H_1$

Garis energi pada penampang 1 adalah paralel (karena permukaan bebas paralel dengan dasar saluran), maka distribusi tekanan adalah hidrostatis. Energi spesifik dinyatakan dengan unsur elevasi sedemikian rupa, sehingga dasar saluran dianggap sebagai datum, $z = 0$, jadi:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Dengan:

E = Energi (cmHg)

Y = Tinggi muka air (cm)

g = Percepatan gravitasi (cm/s²)

V = Kecepatan Aliran (cm/s)

Harga minimum dari energi spesifik berada pada kondisi aliran kritis, kedalamannya disebut kedalaman kritis (Y_c). Aliran pada kedalaman yang lebih tinggi dari Y_c dinamakan aliran subkritis dan bila lebih rendah dari Y_c

dinamakan aliran superkritis. Kedalaman kritis dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$Y_c = \left(\frac{a^2}{g} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Dengan:

a = Debit aliran tiap satuan lebar (cm^2/s)

g = Percepatan gravitasi (cm/s^2)

Y_c = Kedalaman kritis (cm)

Dimana nilai debit aliran tiap satuan lebar diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{Q}{B} \quad (5)$$

Dengan:

q = Debit aliran tiap satuan lebar (cm^2/s)

Q = Debit Aliran (cm^3/s)

B = Lebar Saluran (cm)

Karena distribusi kecepatan pada penampang adalah seragam dengan demikian tinggi energi total (H) dari garis arus adalah: $H_0 = H_1$

$$Y_0 + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = Y_1 + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

$$Y_0 + \frac{V_0^2}{2 \cdot g} = Y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Substitusikan harga kecepatan yang dinyatakan dalam Q, kedalam persamaan maka, didapat Q teoritis (Q_t):

$$Q_t = \frac{b \cdot Y_0 \cdot \sqrt{2g \cdot Y_1}}{\sqrt{\frac{Y_0}{Y_1} + 1}} \text{ atau } \frac{b \cdot Y_1 \cdot \sqrt{2g \cdot Y_0}}{\sqrt{\frac{Y_1}{Y_0} + 1}} \quad (8)$$

Reduksi kecil dalam debit antara penampang 0 dan 1, diperhitungkan dengan koefisien Cv kedalam persamaan (4) :

$$Q = \frac{Cv \cdot b \cdot Y_1 \cdot \sqrt{2g \cdot Y_0}}{\sqrt{\frac{Y_1}{Y_0} + 1}} \quad (9)$$

Harga Cv berkisar antara 0,95 dan 1,00 ($0,95 < Cv < 1$), tergantung pada bentuk pola aliran (dinyatakan oleh perbandingan Y_g/Y_0) dan gesekan.

Kedalaman hilir (Y_1) dapat dinyatakan sebagai bagian daripada ketinggian lubang pintu sorong: $Y_1 = Cc \cdot Y_g$

Atau dapat ditulis nilai Koefisien kontraksi (Cc) dengan persamaan

$$Cc = \frac{Y_1}{Y_g} \quad (10)$$

Dimana Cc adalah koefisien kontraksi yang biasanya diberi harga 0,61. Koefisien kontraksi hampir tidak tergantung pada perbandingan Y_g/Y_0 . Sehingga persamaan (5) menjadi:

$$Q = \frac{Cv \cdot Cc \cdot b \cdot Y_g \sqrt{2g \cdot Y_0}}{\sqrt{\frac{Cc \cdot Y_g}{Y_0} + 1}} \quad (11)$$

Persamaan diatas kadang-kadang ditulis sebagai berikut (Bambang Triatmodjo, 1996):

$$Q = C_d \cdot b \cdot Y_g \sqrt{2g \cdot Y_0} \quad (12)$$

Dimana C_d (koefisien debit) adalah fungsi dari C_v , C_c , Y_g , & Y_0 yang dijelaskan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_d = \frac{Q}{B \times Y_g \times (2 \times g \times Y_0)^{0.5}} \quad (13)$$

Dan nilai C_v (koefisien kecepatan):

$$C_v = \frac{Q \times (Y_1/Y_0 + 1)^{0.5}}{C_c \times B \times Y_1 \times (2 \times g \times Y_0)^{0.5}} \quad (14)$$

Dengan:

- C_d = Koefisien debit
- C_v = Koefisien kecepatan
- C_c = Koefisien Kontraksi
- B = Lebar saluran (cm)
- Y_1 = Tinggi muka air sebelum loncatan (cm)
- Y_g = Bukaan pintu sorong (cm)
- Y_0 = Tinggi muka air di hulu (cm)
- A = Luas Penampang (cm²)
- B = Lebar saluran (cm)
- g = Percepatan gravitasi (cm/s²)
- Q = Debit Aliran (cm³/s)

1. Gaya yang Bekerja pada Pintu Sorong

Faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam desain pintu air adalah gaya yang bekerja, alat pengangkat (mesin atau manusia), sekat kedap air, dan bahan bangunan. Gaya yang berpengaruh adalah gaya akibat tekanan air horizontal bekerja pada plat pintu dan diteruskan ke sponning. Tekanan yang bekerja pada permukaan pintu dapat dianalisis dengan pengukuran langsung pada model. Tekanan normal pada permukaan pintu dapat dinyatakan oleh komponen horisontal FH. Letak dan besarnya gaya-gaya pada pintu dapat ditentukan secara grafis, dengan menggunakan diagram distribusi. Cara yang lebih sederhana dalam menentukan besarnya tekanan adalah dengan menganggap bahwa tekanan horisontal pada permukaan pintu terdistribusi secara hidrostatis.

Gaya dorong yang bekerja pada pintu sorong akibat tekanan hidrostatis dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F_h = 0.5 \times \rho \times g \times (Y_0 - Y_g)^2 \quad (15)$$

F_h = Gaya yang bekerja akibat tekanan Hidrostatis (N/cm)

Y_1 = Tinggi muka air sebelum loncatan (cm)

Y_0 = Tinggi muka air di hulu (cm)

g = Percepatan gravitasi (cm/s²)

ρ = Massa jenis air (gr/cm³)

Y_g = Bukaan pintu sorong (cm)

Sedangkan gaya dorong lainnya pada pintu sorong dapat dihitung dengan rumus:

$$F_g = 0.5 \times \rho \times g \times Y_1^2 \times \left[\left(\frac{Y_0}{Y_1} \right)^2 - 1 \right] \quad (16)$$

F_g = Gaya yang bekerja pada Pintu Sorong (N/cm)

Y_1 = Tinggi muka air sebelum loncatan (cm)

Y_0 = Tinggi muka air di hulu (cm)

g = Percepatan gravitasi (cm/s²)

ρ = Massa jenis air (gr/cm³)

C. Pola Aliran pada Hilir Pintu Sorong

Kondisi aliran dalam saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah menurun ruang dan waktu, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas.

Berdasarkan pendekatan umum mengestimasi pola arus yang terjadi disekitar pintu sorong umumnya diperoleh dari hasil penelitian mengingat kompleksitas permasalahan tersebut seperti estimasi perilaku hidrodinamika yang terjadi pada hilir pintu sorong. Dengan demikian maka pola arus dipengaruhi adanya pintu sorong serta pola debit yang terjadi. Menurut Breuser (1996) dalam Aisyah (2004).

D. Gerusan pada Dasar Saluran

Pengertian Gerusan Proses erosi dan deposisi umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai alluvial. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang

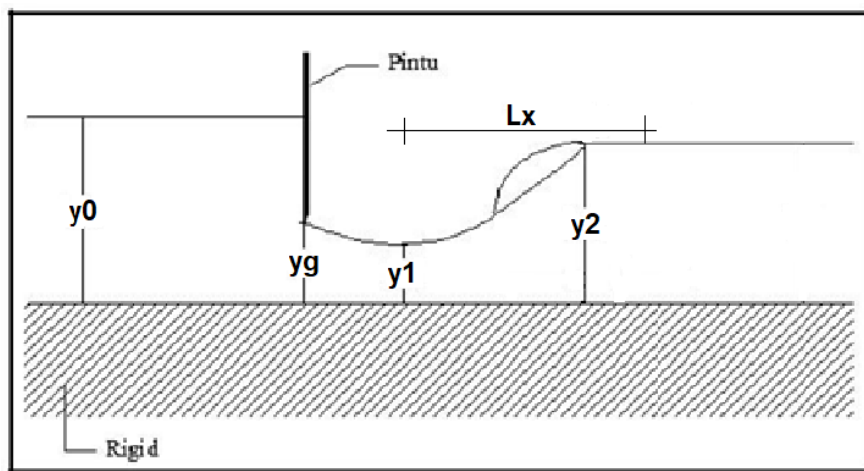
selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan dalam Sucipto, (2004:33).

Menurut Halim, M, F (2001) dalam Sucipto (2010:34), gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai.

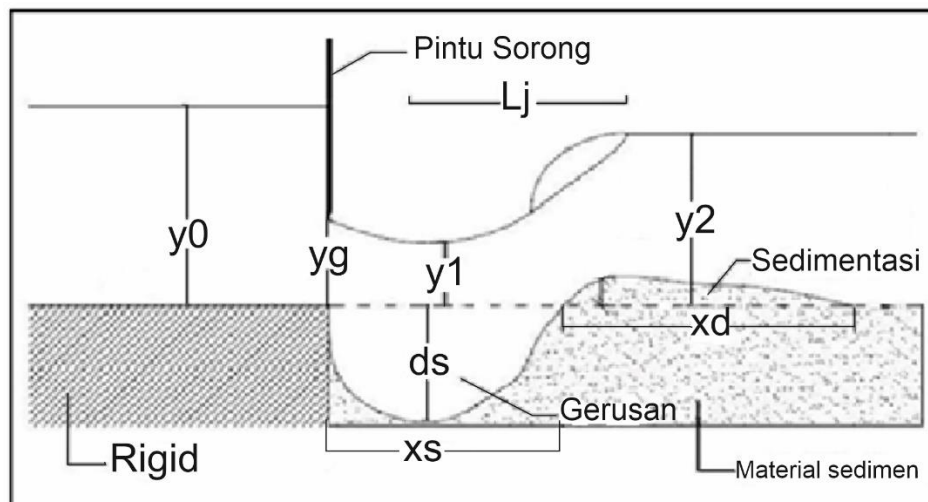
Perbedaan tipe gerusan yang diberikan oleh Raudkivi dan Ettema (1982) dalam Sucipto (2004) adalah sebagai berikut:

1. Gerusan umum di alur sungai,
2. Gerusan dilokalisir di alur sungai,
3. Gerusan lokal disekitar bangunan.

Suatu saluran dengan dasar yang tidak dapat bergerak dikenal sebagai saluran dasar tetap (*Fixed bed*), apabila dasar itu terdiri partikel sedimen lepas yang bergerak dibawah pengaruh air yang sedang bergerak, sebagai saluran dasar bergerak (*Movable bed*)



Gambar 3.a Aliran dasar tetap *fixed bed*



Gambar 3.b Aliran dasar bergerak *Movable bed*

Gerusan dari jenis (a) dan (b) selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersih (*clear water scour*) maupun gerusan dengan air bersedimen (*live bed scour*). Sedangkan gerusan dengan air bersedimen terjadi ketika kondisi aliran dalam saluran menyebabkan material dasar bergerak.

Menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2010), sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

1. Besar gerusan akan sama selisihnya antara jumlah material yang ditranspor keluar daerah gerusan.
2. Besar gerusan akan berkurang apabila penampang basah di daerah gerusan bertambah.
3. Untuk kondisi aliran akan terjadi suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas.

E. Gerusan Lokal

Gerusan Lokal (*local scouring*) dipengaruhi langsung dari akibat bentuk/pola aliran. Penggerusan lokal (Garde dan Raju, 1977) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan oleh terganggunya aliran, baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap tempat, waktu dan keduanya. Pengerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikian rupa sehingga daya tahan material terlampaui. Secara teoristik tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis dari butiran dasar.

Gerusan lokal akibat halangan aliran perlu dipelajari dan diperkirakan sehingga dapat dijadikan sebagai dasar untuk mendapatkan struktur bangunan yang ekonomis dan aman.

Berdasarkan kesetimbangan volume bahan sedimen yang tergerus, terdapat tiga jenis gerusan lokal (*local scouring*) (Simons dan Senturk, 1976: 673):

1. Gerusan stabil.
2. Gerusan jernih Gerusan terjadi secara berkesinambungan serta tidak ada bahan sedimen yang masuk mengisi kembali lubang sedimen.
3. Gerusan dengan volume sedimen masuk berubah-ubah.

F. Rumus-rumus Gerusan Lokal

Sampai saat ini belum ada rumus yang tepat yang dapat dipergunakan dalam menentukan kedalaman local scouring. Rumus-rumus yang ada sangat dibatasi oleh kondisi-kondisi pada waktu penentuan rumus tersebut. Rumus-rumus hanya berlaku dengan batasan bentuk tertentu, ukuran konstruksi tertentu dan jenis atau sifat material dasar sungai yang tergerus. Rumus-rumus dibawah ini adalah rumus Schocklitsch, Eggenberger, Muller dan Lacey.

a. Persamaan Schoklitsch

Pada kondisi aliran *overflow* (dengan $q_u = 0$ dan $L = 0$) diperoleh persamaan:

$$ds = 4,75 \cdot \frac{H^{0,2} \cdot q^{0,57}}{d^{10,32}} - y_2 \quad (17)$$

(*underflow*) menggunakan sill ($L = 1,5H$),

b. Persamaan Muller

Untuk aliran *underflow*, diperoleh dua persamaan, yaitu untuk kondisi aliran tenggelam (*submerged*) dan aliran bebas (*free wavy jet*).

$$ds = 10,35 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,6} d^{10^{-0,4}} - y_2 \quad (18)$$

c. Persamaan Eggenberger

Eggenberger melakukan tes di laboratorium :

$$ds = 22,9 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,6} d^{10^{-0,4}} - y_2 \quad (19)$$

d. Persamaan Metode Lacey

Persamaan Metode Lacey :

$$ds = 0,47 \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3} \quad (20)$$

G. Mekanisme Gerusan

Pintu air merupakan salah satu pintu sorong yang dipakai sebagai pengatur masuknya air untuk dibagi atau untuk mengatur debit. Sewaktu pintu dioperasikan akan terjadi pola aliran di daerah bukaan pintu dimana arus aliran tersebut akan berinteraksi dengan material yang ada di sekelilingnya. Interaksi arus aliran dengan dasar saluran akan menyebabkan material di dasar saluran tergerus. Apabila di dasar saluran tersebut bermaterial lunak atau material lepas maka akan terjadi pola gerusan tertentu yang mencerminkan pola gerusan akibat aliran tersebut.

Dalam Chatterje dkk (1994) dikatakan tentang mekanisme gerusan di belakang pintu air. Lubang gerusan yang terbentuk menyebabkan peningkatan kedalaman aliran lokal (pada lubang gerusan tersebut) dan berakibat tegangan gesek di atas dasar menjadi kurang dan lebih kecil dibandingkan tegangan gesek kritis material dasar sehingga terjadi penurunan material yang ternagkut dan akhirnya tercapai tahap keseimbangan dimana gerusan tidak bertambah lagi.

Dalam Breusers (1991) dikatakan bahwa bentuk aliran pada lubang gerusan di saluran dua dimensi hampir mirip dengan lapis turbulen. Arus/olakan air lunak terbentuk dekat dasar pada awal lubang gerusan dan

berakhir pada lokasi kedalaman gerusan maksimum, di daerah ini aliran sangat turbulen dan menyebabkan transpor material dasar. Penyebab gerusan lokal adalah fluktuasi gaya-gaya yang bekerja pada dasar saluran, misalnya gaya tekanan (*pressure*), gaya angkat (*lift force*), dan gaya geser (*shear force*).

Urbonas (1968) yang melakukan eksperimen dengan bahan dasar berupa butiran batuan, menyatakan bahwa partikel pada dasar saluran yang mengalami gerusan lokal akan mulai bergerak dan lepas bila aliran mencapai kondisi-kondisi berikut:

1. Gaya angkat pada partikel jauh melampaui gaya seret (*drag force*).
Namun hasil ini bertentangan dengan pengukuran yang dilakukan White (1940) pada aliran seragam yang menyatakan bahwa gaya angkat adalah nol.
2. Tekanan pada titik terendah pada partikel mendekati tekanan hidrostatis, yaitu tekanan oleh kolom air setinggi kedalaman air pada titik tersebut.
3. Fluktuasi tekanan pada permukaan partikel berkaitan dengan gaya angkat rata-rata dan gaya angkat berfluktuasi.
4. Fluktuasi tertinggi tekanan kebanyakan terjadi dekat puncak partikel dan mendekati nol pada titik terendah partikel. Dapat dianggap bahwa setengah bagian bawah partikel mengalami tekanan hidrostatis yang relatif konstan.

H. Kerangka Pikir Penelitian

Sehubungan dengan pemanfaatan air untuk irigasi dan kebutuhan yang lain, seringkali dibuatlah pintu sorong seperti waduk, saluran, pintu air, terjunan, bendung dan lain sebagainya guna mengatur dan mengendalikan air tersebut. Untuk menyalurkan air ke berbagai tempat, guna keperluan irigasi, drainase, air bersih dan sebagainya. Sering dibuat saluran dengan menggunakan saluran terbuka.

Pada pengoperasiannya untuk membagi air, mengatur debit dan sebagainya. Kadang-kadang diperlukan suatu alat yang disebut pintu air, pintu sorong (Sluice Gate). Sewaktu pintu di operasikan akan terjadi pola aliran di daerah bukaan pintu yang mana arus aliran tersebut akan berinteraksi dengan material yang ada disekelilingnya. Interaksi arus aliran dengan dasar saluran akan menyebabkan material yang ada di dasar saluran tergerus adanya gerusan ini akan secara berangsur merusak dasar saluran yang akhirnya akan membahayakan stabilitas pintu oleh karena itu penelitian ini mencoba melakukan eksperimen dilaboratorium dengan menggunakan dasar tanah lempung untuk mempelajari pola gerusan disekitar pintu sorong. Adapun kerangka pikir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 4. Kerangka Pikir Penelitian

